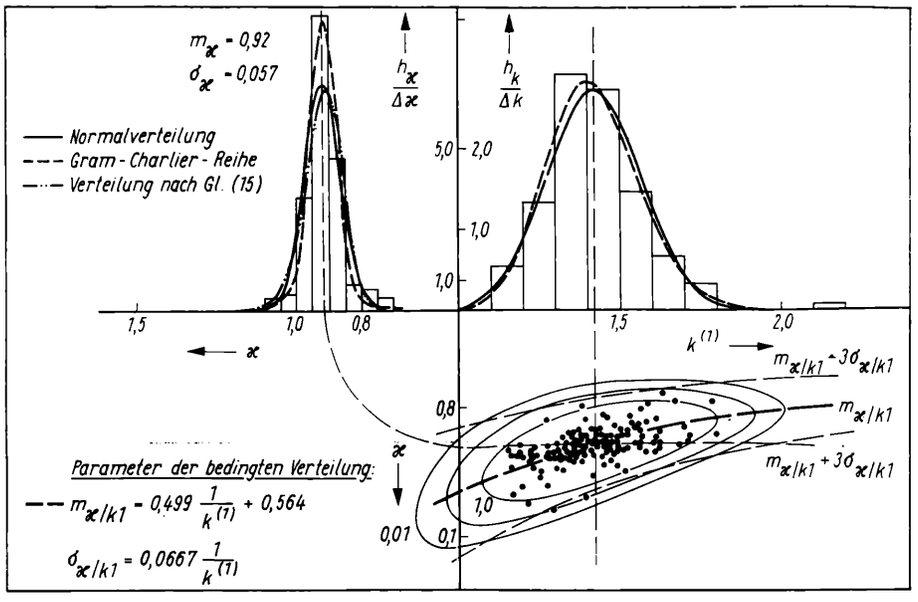
ELEKTRIE 5|86

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN · Postverlagsort für DDR Leipzig · EVP 2,50 Mark · ISSN 0013—5399

PROZESSAUTOMATISIERUNG

durch mikrorechnergeführtes Automatisierungssystem

0120301



a) Leitungsanfang

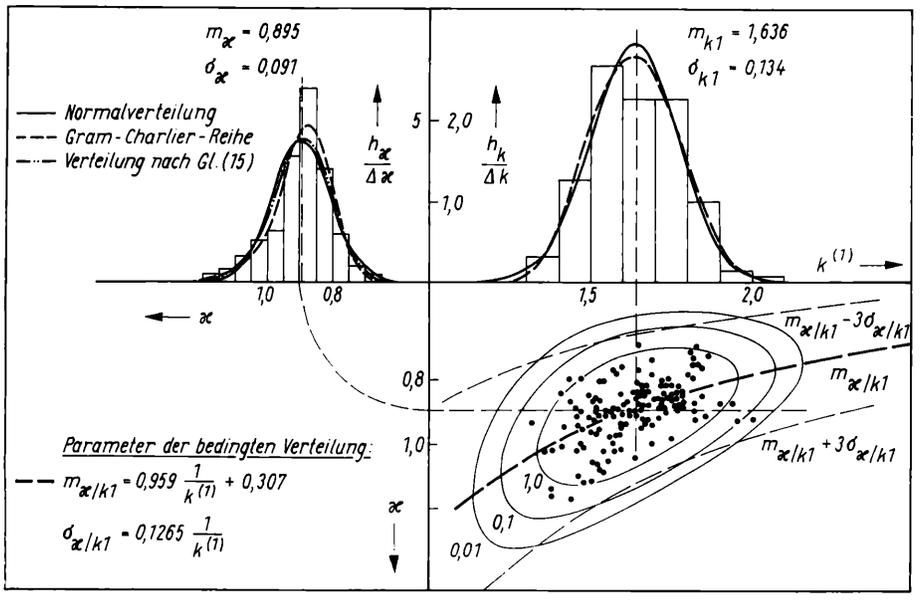
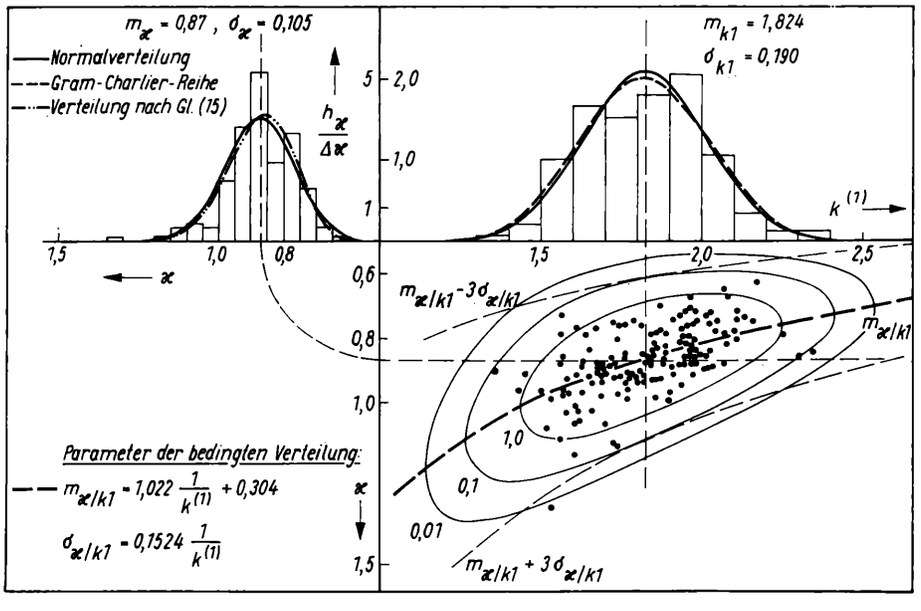


Bild 4 aus dem Beitrag von Chr. Hoy auf den Seiten 185—187 in diesem Heft

Bild 4. Korrelationsfelder der Übertragungsfaktoren $k^{(1)}$ des 1. Schwingungsscheitels und der bezogenen Überspannungsfaktoren des 2. Schwingungsscheitels $\varkappa = k^{(2)}/k^{(1)}$

b) Leitungsmitte



c) Leitungsende

5|86 ELEKTRIE

40. Jahrgang

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift der Elektrotechnik

ISSN 0013-5399

Organ des Fachverbands Elektrotechnik der Kammer der Technik

Die Zeitschrift erhielt die Silberne Ehrenplakette der KDT

Redaktionsbeirat

Vorsitzender:

Prof. Dr. sc. techn. J. Vogel

Mitglieder:

Prof. Dr. sc. techn. S. Altmann · Prof. Dr. sc. techn. H. Böhme · Prof. Dr. sc. techn. P.-K. Budig · Dr. sc. techn. G. Burkhard · Dr.-Ing. D. Flügge · Obering. K. Friedel · Prof. Dr. sc. techn. J. Hoffmann · Dipl.-Ing. H. Kabisch · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Lappe · Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e.h. H.-J. Mau · Prof. Dr. phil. habil. G. Mierdel · Dr. rer. nat. K. Möbius · Prof. Dr. sc. techn. E. Muschick · Prof. Dr. sc. techn. V. Pfeiler · Prof. Dr.-Ing. e.h. K. Pommer · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Schönfeld · Obering. Dipl.-Ing. N. Wass · Prof. Dr.-Ing. habil. G. Wunsch

Korrespondenten:

Dr.-Ing. K. Hanella, Ilmenau · Dr.-Ing. W. Jordan, Dresden

Titelbild

audatec ist ein funktionell und räumlich dezentrales mikrorechnergeführtes Automatisierungssystem, das zwei Hierarchie-Ebenen realisiert: den prozeßnahen Bereich und die Leitebene. Das System gestattet dem Anwender

- eine Einsparung an Baukosten
- eine Erhöhung der Erzeugnisqualität bei Senkung des Rohstoff- und Energieverbrauches
- eine hohe Verfügbarkeit
- eine Verbesserung der Arbeitsbedingungen,

verlangt aber auch ein anspruchsvolles Anlagenaufbaukonzept und ein umfangreiches System der Qualitätssicherung. Lesen Sie dazu weitere Gesichtspunkte im Beitrag auf Seite 165 in diesem Heft.

Foto: Werkfoto

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Träger des Ordens Banner der Arbeit

Inhaltsverzeichnis

Seite

Aktuelle Information 162

Conrad, H.
Tradition guter Zusammenarbeit 163

25 Jahre erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen der TU Dresden und der Polytechnischen Hochschule „M. I. Kalinin", Leningrad 164

Fachaufsätze

Krause, J.; Schmiedtke, P.
Qualitätssicherung und Zuverlässigkeit von Automatisierungsanlagen 165

Engelage, D.; Scheibe, S.; Spangenberg, P.; Tischer, K.
Meßwerterfassungs- und Übertragungssystem mit Lichtwellenleitern MELOK 10-1 169

Frotzschner, S.
Verbesserung der Elektroenergiequalität von Drehstrom-Lichtbogenöfen auf der Basis geregelter Stabilisatoren 171

Gerstenberger, St.
Störlichtbogenbedingtes Volumen — ein Beitrag zur Dimensionierung von metallgekapselten Schaltfeldern 174

Thöry, N.
Simulationsmöglichkeiten transienter Störspannungen im Nanosekundenbereich zur Sicherung der EMC 178

Richter, Chr.
Das Impulsübertragungsverhalten von Dreiwicklungstransformatoren 181

Hoy, Chr.
Über die stochastischen Bindungen zwischen den Beanspruchungskenngrößen durchschwingender Einschaltüberspannungen auf EHV-Übertragungen 185

Lorenz, J.; Kordus, A.
Erdschlußschutz für Mittelspannungsnetze auf der Basis eines Vergleiches der Leitungsnulladmittanzen 188

Umschau

Fachtagungen 190

Zeitschriften 195

Dissertationen 196

Bücher 197

AKTUELLE INFORMATION

30 Jahre Institut „Prüffeld für elektrische Hochleistungstechnik" Berlin

Wissenschaftlich-technische Tagung

Zeit: 2. und 3. Dezember 1986
Ort: Berlin

Auf der Tagung, die anläßlich des 30jährigen Bestehens des Instituts durchgeführt wird, gibt das IPH einen Überblick über seinen gegenwärtigen Leistungsstand mit den Themenkomplexen

- Prüf- und Meßtechnik in den Hochleistungsprüffeldern
- Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Elektroenergieverteilung und -übertragung.

R. Bahnemann, Berlin EA 2206

Ausrüstungen für die Metallurgie

VIII. Kolloquium Ausrüstungen mit internationaler Beteiligung

Zeit 3. bis 5. November **1987**
Ort: Technische Hochschule Otto von Guericke Magdeburg
Veranstalter: TH Otto von Guericke Magdeburg, Sektion Maschinenbau, Wissenschaftsbereich Ausrüstungen der Metallurgie

Inhaltliche Schwerpunkte

- Projektierung, Konstruktion und Technologien für metallurgische Anlagen unter besonderer Berücksichtigung von rechnergestützten Arbeitsweisen (CAD/CAM)
- Automatisierung metallurgischer Ausrüstungen besonders unter Einsatz von Mikroelektronik
- Methoden und Ergebnisse zur Erhöhung der Zuverlässigkeit metallurgischer Ausrüstungen unter Berücksichtigung ihrer Instandhaltung.

Anfragen
TH Otto von Guericke, Magdeburg
Tagungsbüro
Boleslaw-Bierut-Platz 5
Postschließfach 124
Magdeburg
3010
Telefon: Magdeburg 592209
Telex: 018214
G. Ditten; R. Hartula; Magdeburg EA 2221

Jahrestagung der WGMA

Zeit: 4. und 5. Dezember 1986
Ort: Berlin
Veranstalter: Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT

Inhaltliche Schwerpunkte

1. Zuverlässigkeit
   - Systemleistungen und Zuverlässigkeit
   - Zuverlässigkeitsstrukturen
   - Zur Digitalsimulation in der Zuverlässigkeitstheorie
2. Steuerungstechnik
   - Steuerungssysteme; Hardware und Betriebssoftware
   - Steuerungssysteme; Programmierprobleme
3. Modellierung
   - Strategien zur Modellbildung in hierarchisch strukturierten Steuerungssystemen

Anfragen
Telefon: 2202531 App. 218
Kammer der Technik
— WGMA —
PF 1315
Berlin
1086
K.-D. Müller, Berlin EA 2203

Automatisierung der technischen Vorbereitung und Steuerung der Produktion

CAD/CAM — Konferenz der WGMA

Zeit: 17. bis 19. Dezember 1986
Veranstalter: Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der Kammer der Technik der DDR

Inhaltliche Schwerpunkte

- Theoretische und methodische Grundlagen
- Geräte- und programmtechnische Basis für die rechnergestützte Arbeit
- CAD in der Automatisierungstechnik
- CAM — Flexible Automatisierung
- CAD/CAM-Einsatz in der Elektrotechnik/Elektronik
- CAD/CAM-Einsatz im Bauwesen
- Durchgängig automatisierte Systemlösungen für die technische Vorbereitung und Steuerung der Produktion — Stand und Perspektive
- CAD/CAM-Einsatzvorbereitung unter Berücksichtigung organisatorischer und ökonomischer Aspekte — Erfahrungen, Probleme und Ausblick
- Erfahrungen bei der effektiven Erarbeitung von Anwendersoftware für CAD/CAM-Lösungen
- Effektivitätsabschätzungen beim CAD/CAM-Einsatz
- Arbeitswissenschaftliche Aspekte bei der Mensch-Maschinekommunikation im CAD/CAM-Prozeß
- Grundsätzliche und methodische Fragen der industriellen Formgestaltung innerhalb des CAD-Prozesses
- Automatisierungskonzeptionen für die bedienarme Fertigung
- Strukturierung und Systematisierung von Informationsflußsystemen flexibler automatisierter Fertigungen
- CAD/CAM-Systemtechnik — Stand und Perspektive
- CAD/CAM — Aus- und Weiterbildung: Anforderungen und Möglichkeiten
- Basissoftware für CAD/CAM-Arbeitsplätze des K Robotron
- Personalcomputer PC 1715, Systemtechnik und Einsatzmöglichkeiten
- Arbeitsplatzcomputer A 7100, Systemtechnik und Einsatzmöglichkeiten
- Leiterplattentester M 3003, Einsatzcharakteristik und -möglichkeiten
- Arbeitsplatz für Konstruktion und Technologie AKT A 6454
- ESER-Systemtechnik für CAD/CAM
- Datenbanksoftware
- Standardisierung der grafischen Grundsoftware
- Aufgabenaufbereitung und -prüfung als Voraussetzung für CAD bei der Anlagenautomatisierung
- Bedeutung der Meßtechnik für die rechnergestützte Qualitätssicherung
- Zur volkswirtschaftlichen Bedeutung von 3D-fähigen CAD/CAM-Systemen
- Organisatorische Steuerung flexibler Fertigungssysteme
- Maschinelles Sehen für industrielle CAD/CAM-Systeme
- Rechnergestützte Entwurfsmethoden und -systeme sowie Fertigung von mikroelektronischen Schaltkreisen in der DDR, dargestellt am Beispiel Gate-Array
- Zur Gestaltung von CAD-Systemen im Bauwesen

Anfragen
Tel.: 2202531 App. 218
Kammer der Technik
— WGMA —
PF 1315
Berlin
1086
K.-D. Müller, Berlin EA 2205

Unkonventionelle Dimensionierung und Betriebsführung elektrischer Energieanlagen

9. KDT-Kolloquium

Zeit: 18. und 19. Dezember 1986
Ort: IH Zittau
Veranstalter: KDT-Hochschulorganisation der IH Zittau

Das Kolloquium findet in Würdigung der über 15jährigen guten Zusammenarbeit zwischen der Ingenieurhochschule Zittau und dem Kombinat Verbundnetze Energie auf dem Gebiet unkonventioneller Methoden der Dimensionierung und Betriebsführung mit folgender Zielstellung statt.

Inhaltliche Schwerpunkte

Überblick über theoretische Grundlagen, Darstellung realisierter Applikationen, Standortbestimmung zu künftigen Arbeiten und Anwendungsfällen. Diskussion von Thesen zur Erarbeitung eines gemeinsamen Standpunktes innerhalb der DDR zu den Themen

- Stochastische Bemessung und Betriebsführung von Elektroenergieanlagen im Nieder-, Mittelspannungs- und Übertragungsnetz
- Standardrechtliche Grundlagen.

Anfragen
Ingenieurhochschule Zittau
KDT — Fachsektion E
Tel.: 61314, 61315, 61301
Theodor-Körner-Allee 16
PSF 261
P. Reinhold, Zittau EA 2204

Tradition guter Zusammenarbeit

Laudatio zur Verleihung der Ehrendoktorwürde an Herrn Prof. Dr.sc.techn. Michail Wladimirowitsch Kostenko, Korrespondierendes Mitglied der AdW der UdSSR, Ordinarius des Lehrstuhls für Hochspannungstechnik der Polytechnischen Hochschule „M. I. Kalinin" Leningrad

Von

Dr. sc. techn. Harry Conrad

o. Prof. für Elektrotechnik (Leistungselektronik) an der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden

Mitglied des Wissenschaftlichen Beirates für Elektroingenieurwesen des MHF
Vorsitzender der Wissenschaftlichen Sektion Elektrotechnologie des FV Elektrotechnik der KDT

Wesentliche Voraussetzung für die Entwicklung der DDR und die erzielten Ergebnisse in Wissenschaft, Technik und Produktion ist die enge Zusammenarbeit mit der UdSSR, die unter Führung der KPdSU und der SED ständig vertieft und ausgebaut wird. Mit der Unterzeichnung der ersten Arbeitsvereinbarung am 22. 04. 1961 kann die TU Dresden auf eine 25jährige, erfolgreiche Zusammenarbeit in Erziehung, Ausbildung und Forschung mit der Polytechnischen Hochschule „Michail Iwanowitsch Kalinin" Leningrad zurückblicken. Wir sind stolz darauf, daß die Elektrotechnik im Rahmen dieser Zusammenarbeit von Anfang an eine führende Rolle spielt, nimmt sie doch in der Entwicklung der Volkswirtschaft aller Länder eine Schlüsselrolle ein. Bereits die Begründer des wissenschaftlichen Kommunismus Karl Marx und Friedrich Engels erkannten die Bedeutung der gerade aufkommenden Elektrotechnik für die Gesellschaft, so äußert z.B. Friedrich Engels 1882 in einem Brief an Eduard Bernstein, eingehend auf dje elektrotechnische Revolution:

„Aber tatsächlich ist das eine gewaltige Revolution. Die Dampfmaschine lehrte uns, Wärme in mechanische Bewegung umzuwandeln, aber die Anwendung der Elektrizität eröffnet uns den Weg, alle Arten von Energie umzuwandeln — Wärme, mechanische Bewegung, Elektrizität, Magnetismus, Licht — eine in die andere und umgekehrt und sie in der Industrie zu benutzen. Der Kreis ist geschlossen. Die neueste Entdeckung von Deprez besteht darin, daß ein elektrischer Strom sehr hoher Spannung mit verhältnismäßig geringem Energieverlust durch einen einfachen Telegrafendraht über eine solche Entfernung, von der man bisher nur träumen konnte, übertragen und am Endpunkt verwendet werden kann. Die Sache steckt noch in den Anfängen — die Entdeckung befreit endgültig die Industrie fast von allen Grenzen, die von örtlichen Bedingungen herrühren, macht die Ausnutzung auch der entferntesten Wasserenergie möglich, und wenn sie anfangs nur für die Städte nützlich sein wird, so wird sie schließlich zum mächtigsten Hebel für die Aufhebung der Widersprüche zwischen Stadt und Land.
Es ist völlig klar, daß dadurch die Produktivkräfte rasant anwachsen."

Wladimir Iljitsch Lenin, der Begründer des ersten sozialistischen Staates der Welt, der UdSSR, integrierte die Elektrotechnik in die geniale Formel

Kommunismus = Sowjetmacht + Elektrifizierung des ganzen Landes

deren Realisierung mit dem GOELRO-Plan begann und die bis heute in grandioser Weise fortgesetzt wird. Die immer umfassendere und wirtschaftlichere Nutzung der Elektroenergie ist aber untrennbar verbunden mit der optimalen Gestaltung und dem sicheren Betrieb der Elektroenergiesysteme. Für uns Wissenschaftler ist auch auf diesem Gebiet die UdSSR leuchtendes Vorbild. In keinem anderen Land der Welt ist es in so historisch kurzer Zeit gelungen, ein über unsere Vorstellungen weit hinausgehendes stabiles und leistungsfähiges Elektroenergiesystem zu schaffen.
Die in der Kommission zur Vorbereitung und Durchführung des Leninschen GOELRO-Plans aktiv mitwirkenden Professoren Michail Andrejewitsch Schatelen und Alexander Alexandrowitsch Gorev vom Leningrader Polytechnischen Institut hatten bereits vor 75 Jahren eines der ersten Hochspannungslaboratorien der Welt an einer Hochschule begründet. Sie und ihre Schüler hatten einen großen Anteil an der außerordentlich erfolgreichen Entwicklung der Elektroenergetik der UdSSR.
Dazu gehört

> das korrespondierende Mitglied der AdW der UdSSR, der Doktor der technischen Wissenschaften, Professor Michail Wladimirowitsch Kostenko, Ordinarius des Lehrstuhls Hochspannungstechnik der Polytechnischen Hochschule Leningrad,

den wir heute ehren.

Bild. 1. Verleihung der Würde eines Doktor-Ingenieur ehrenhalber (Dr.-Ing. E.h.) an Prof. Doktor der technischen Wissenschaften Michail Wladimirowitsch Kostenko (rechts) durch den Rektor der Technischen Universität Dresden, Prof. Dr. sc. techn. Rudolf Knöner, am 26. März 1986.

In seiner mehr als 40jährigen wissenschaftlichen Tätigkeit[1]) davon 32 Jahre als Leiter des Lehrstuhls Hochspannungstechnik, bereicherte er die Elektroenergietechnik durch originäre theoretische Arbeiten zur Erforschung der Physik und den Gesetzmäßigkeiten von elektrischen Ausgleichsvorgängen und Überspannungserscheinungen in Elektroenergienetzen bis zu den höchsten Betriebsspannungen.

In überzeugender Weise gelang es ihm, theoretische Überlegungen und experimentelle Ergebnisse durch exakte Beweisführung miteinander zu verbinden, daraus Berechnungsverfahren für die Wanderwellenvorgänge — als Kostenko-Verfahren bekannt — und die stationär und impulsgebundene Koronaentladung auf Hochspannungsleitungen zu entwickeln, die ihm international hohe Anerkennung verschafften.

Unter seiner Leitung wurde vor 30 Jahren der erste Wanderwellenanalysator — eine analogmodellgestützte Rechenanlage — in der UdSSR aufgebaut, der als Vorbild für ähnliche Modelle in anderen Ländern, darunter auch in der DDR an der TU Dresden, der TH Ilmenau und der IH Zittau, diente. Mit dessen Hilfe und der später entwickelten Digitalrechenprogramme wurde von Michail Wladimirowitsch Kostenko der Überspannungsschutz von Elektroenergieanlagen aller Spannungsebenen untersucht und die Entwicklung der Überspannungsableitertechnik in der UdSSR vorangetrieben.

Mit der 1957 im VEB TuR Dresden an das Leningrader Hochspannungslaboratorium gelieferten Wechselspannungsprüfanlage für 2250000 Volt wurden unter Leitung von Prof. Kostenko erstmalig in der Welt Experimente bei großen Schlagweiten begonnen und Schaltspannungen mit Wechselspannungsprüfanlagen erzeugt. Die seit 25 Jahren im Rahmen des Freundschaftsvertrages zwischen der Polytechnischen Hochschule Leningrad und der Technischen Universität Dresden bestehende enge und freundschaftliche Zusammenarbeit zwischen den Lehrstühlen für Hochspannungstechnik beider Institutionen trug dabei besondere Früchte. Die von beiden Seiten erbrachten Ergebnisse dieser Forschungskooperation waren Grundlagen für die Entwicklung von modernen Hochspannungsprüfanlagen des VEB Transformatoren und Röntgenwerk „Hermann Matern" Dresden, des alleinigen Herstellers derartiger Anlagen im RGW[2]).

Für die dabei erzielten Leistungen wurde Prof. Kostenko 1972 mit dem Nationalpreis der DDR ausgezeichnet.

In mehr als 180 Publikationen im In- und Ausland, davon 9 Monografien und einem Lehrbuch, zahlreichen Vorträgen auf nationalen und internationalen Tagungen, wie z. B. regelmäßig auf den Konferenzen der CIGRE, aber auch auf den Wissenschaftlichen Konferenzen der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden hat Prof. Kostenko seine Arbeitsergebnisse zur Diskussion gestellt und den hohen Stand der Sowjetwissenschaft überzeugend dokumentiert.

Für seine wissenschaftlichen Arbeiten wurde er 1979 mit dem Jabločkov-Preis der Akademie der Wissenschaften der UdSSR ausgezeichnet.

Michail Wladimirowitsch Kostenko als Wissenschaftler zu würdigen und zu ehren, heißt jedoch nur eine Seite seiner Persönlichkeit erfaßt zu haben. Aufgewachsen in einer Familie mit revolutionären Traditionen, sein Vater wurde z. B. wegen revolutionärer Tätigkeit in der Peter-Pauls-Festung arretiert, aus der zaristischen Flotte ausgeschlossen und aus Petersburg verbannt, stellte Michail Wladimirowitsch stets seine ganze Kraft in den Dienst der sozialistischen Gesellschaft.

Sein Ruf als Hochschullehrer und Pädagoge ist unumstritten.

Eine große Anzahl von Studenten und Aspiranten sind aus seiner wissenschaftlichen Schule hervorgegangen, darunter auch aus der DDR, die in der Wissenschaft und Wirtschaft der DDR in verantwortungsvollen Funktionen hohe Leistungen vollbringen.

Als Kommunist und langjähriges Mitglied der Parteileitung des Wissenschaftsbereiches widmete sich Michail Wladimirowitsch besonders der Erziehung des wissenschaftlichen Nachwuchses. Dabei geht er davon aus, daß in der gegenwärtigen Etappe der wissenschaftlich-technischen Arbeit mit der Literatur, des ständigen Strebens zur Erhöhung ihrer Qualifizierung und des schöpferischen Herangehens an die Lösung aller praktischen Aufgaben gemäß dem Grundsatz „die Wissenschaft ist der Feind aller Bequemlichkeit" entwickelt werden muß.

Als Mitglied einer Reihe von wissenschaftlichen Räten und Kommissionen in verschiedenen Abteilungen der AdW der UdSSR, des Hochschulministeriums, des Ministeriums für Elektrotechnische Industrie u. a. leistet er eine umfangreiche gesellschaftliche Tätigkeit.

Für seine Leistungen wurde Michail Wladimirowitsch Kostenko durch hohe staatliche Auszeichnungen der UdSSR, wie mit dem Lenin-Orden, dem Orden der Großen Sozialistischen Oktoberrevolution und des Großen Vaterländischen Krieges sowie dem Rotbanner-Orden geehrt.

Als Mensch zeichnet sich Michail Wladimirowitsch durch Bescheidenheit Parteilichkeit, außerordentliche Arbeitsliebe und Disziplin, konsequente Haltung und Sachlichkeit aus. Auf Grund seiner persönlichen und wissenschaftlichen Ausstrahlung wird er von allen, die das Glück haben, mit ihm zusammenzuarbeiten, hoch geschätzt, als Autorität geachtet und als Vorbild anerkannt.

EA 2167

[1]) Siehe auch ELEKTRIE, Berlin 36 (1982) 12, S. 619.
[2]) Wir verweisen u. a. auf die Hefte 10/84 und 6/86.

Die Redaktion

---

25 Jahre erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen der TU Dresden und der Polytechnischen Hochschule „M. I. Kalinin", Leningrad

In den vergangenen 25 Jahren wurden vom LPI 340 DDR-Bürger ausgebildet. Davon konnten 230 ihren Diplomingenieur, 39 ihren Dr.-Ing. und einer seinen Dr. sc. techn. erfolgreich im LPI verteidigen. 70 Spezialisten erhielten im Rahmen eines Zusatzstudiums eine Weiterbildung. Gegenwärtig weilen am LPI 34 Studenten und 14 Zusatzstudenten aus der DDR zur Ausbildung.

Alle Absolventen des LPI bewähren sich hervorragend in verantwortlichen Funktionen in der Wirtschaft, der Wissenschaft und dem Hochschulwesen der DDR und sind Träger der engen Zusammenarbeit mit der UdSSR.

Mit dem Abschluß des Freundschaftsvertrages zwischen der TU Dresden und dem Leningrader Polytechnischen Institut am 22. April 1961 nahm eine höhere Stufe der Zusammenarbeit ihren Anfang.

Erstmalig wurde die direkte Zusammenarbeit zwischen verwandten Lehrstühlen und Sektionen beider Hochschulen vereinbart und der Austausch von Gastprofessoren und -dozenten, der Austausch einer größeren Anzahl von Assistenten und Aspiranten, die regelmäßig gegenseitige Information über die gesamte Hochschularbeit, der Austausch von wissenschaftlichen Publikationen vereinbart.

Der Erfahrungsaustausch in der wissenschaftlichen Tätigkeit wurde auf dieser Basis systematisch ausgebaut und neben der Zusammenarbeit zu Problemen der Lehre und Erziehung zunehmend die Forschung einbezogen und zu einer arbeitsteiligen Zusammenarbeit entwickelt.

An der wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit im vergangenen Fünfjahrplanzeitraum waren vom LPI 21 Lehrstühle und von der TUD 10 Sektionen beteiligt.

In der Forschungszusammenarbeit werden weitere 15 Themenkomplexe bearbeitet, die von gesellschaftswissenschaftlichen bis zu wissenschaftlich-technischen Aufgabenstellungen reichen. Die Ergebnisse der gemeinsamen Forschungsarbeit wurden in Forschungsberichten, Dissertationen, Büchern, gemeinsamen Veröffentlichungen und Vorträgen auf wissenschaftlichen Konferenzen dokumentiert. Für die zur Forschungszusammenarbeit erforderlichen Konsultationen und den Ergebnisaustausch weilten jährlich 19 Wissenschaftler der TU Dresden am LPI und wurden jährlich 16 Wissenschaftler des LPI an der TU Dresden zu Studienaufenthalten von jeweils 30 Tagen empfangen. Dadurch entwickeln sich sehr enge wissenschaftliche und persönliche Beziehungen, die eine hohe Effektivität der Zusammenarbeit gewährleisten. Durch den regelmäßigen Austausch von Gastlehrkräften wird die Ausbildung in beiden Hochschulen wesentlich befruchtet und das Sprachverständnis gefördert. Für die internationalistische Erziehung, die Vertiefung der Freundschaft zwischen unseren Völkern, das gegenseitige Kennenlernen der Ausbildungsrichtungen und -methoden, der

Fortsetzung auf Seite 194

Qualitätssicherung und Zuverlässigkeit von Automatisierungsanlagen

J. Krause; P. Schmiedtke, Berlin

Anlagen zur Automatisierung technologischer Prozesse — z.B. in Walzwerken, Zementanlagen, Kraftwerken, aber auch im Traktionsbereich — stellen seit jeher hohe Anforderungen an die Qualität. Obwohl darunter die Gesamtheit aller Eigenschaften und Merkmale eines solchen Systems zu verstehen ist, werden aber hauptsächlich mit diesem Begriff Funktions- bzw. Arbeitsfähigkeit innerhalb einer gegebenen Zeitdauer verknüpft. Sie kennzeichnet

- eine fehlerfreie Arbeitsweise auch bei definierten Grenzwerten von Spannungen, Strömen, Verlustleistungen sowie der Umgebungsbedingungen
- die Unempfindlichkeit gegenüber internen und externen elektromagnetischen und elektrostatischen Störungen bestimmter Größe
- Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit.

In diesen Zielen drückt sich das Bedürfnis nach Sicherheit aus, also Gefährdungen und Schäden jeglicher Art zu vermeiden. Obwohl mit der durchgängigen Einführung der Mikroelektronik enorm verbesserte Voraussetzungen zum Erreichen einer hohen Qualität bestehen, ergeben sich damit auch völlig neue Fehlerquellen und -möglichkeiten. Fehler/Ausfälle — also Verschlechterungen im Zuverlässigkeitsverhalten — können nunmehr nicht nur von falschen Dimensionierungen während der Entwicklungsphase hervorgerufen sowie durch klassische Fertigungsmängel u.ä. verursacht werden. Neuerdings können sie vor allem durch unsachgemäße Behandlung mikroelektronischer Bauelemente und Geräte im betrieblichen Durchlauf, z.B. infolge des Nichtbeachtens der Behandlungsvorschriften für MOS-Bauelemente, fehlenden Kontakt- und Staubschutzes für Steckverbinder, entstehen. Das Unangenehme, das sich mit solchen Fehlbehandlungen verbindet, ist die Tatsache, daß ihre Auswirkungen oftmals nur zu Langzeitschäden führen, also weder während der Fertigungsprüfung noch vom Inbetriebnahmepersonal erkannt werden, aber die Zuverlässigkeitskennwerte entscheidend reduzieren.

Mit dem Vordringen der speicherprogrammierbaren (SP-) Technik verdient die Wechselbeziehung des zeitlichen Auftretens eines Fehlers (Ausfalls) mit seiner möglichen Weiterverarbeitung besondere Beachtung. So wird ein Softwarefehler eben erst dann sichtbar, wenn der zugehörige Programmabschnitt zu durchlaufen ist. Entsprechend wirkt sich ein transienter Hardwarefehler (etwa infolge eines internen Störimpulses) nur aus, wenn während seiner Existenz die zugehörigen Funktions-/Baugruppen aktiviert sind. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, daß sich die daraus ergebende Reaktion vorerst lediglich in einem fehlerhaften „inneren" Zustand der Automatisierungsanlage bzw. eines Teiles davon (Speichern eines fehlerhaften Resultats) abzeichnen kann und ein Fehler/Ausfall (ggf. mit Schadensfolge) zu einem Zeitpunkt eintritt, an dem die ursprüngliche Ursache bereits wieder beseitigt ist.

Das Sicherstellen dieser einleitend genannten Merkmale erfordert ein auf alle an Entwicklung, Projektierung und Realisierung beteiligten Bereiche übergreifendes in-situ-Qualitätssicherungssystem[1]), also einen Lückenlosigkeit garantierenden Katalog aufeinander abgestimmter, zum richtigen Zeitpunkt, am notwendigen Ort und von der zutreffenden Instanz praktizierter Maßnahmen.

Im folgenden Überblick bilden die in der Realisierungsphase (Fertigung) wirksamen Maßnahmen den Schwerpunkt, wobei die Bedingungen der SP-Technik ausdrücklich Berücksichtigung finden.

Dr.-Ing. *Joachim Krause*, Zentrum für Forschung und Technologie, Ing. *Peter Schmiedtke*, Werk für Industrielle Elektronik im VEB Elektroprojekt u. Anlagenbau Berlin, Stammbetrieb des Kombinates Automatisierungsanlagenbau.

[1]) in-situ- an Ort und Stelle, in der richtigen Lage

1. Zur Bedeutung der Anlagenqualität

Nicht ausreichende Qualität ist immer identisch mit hohen Betriebskosten, allerdings bedeutet bessere Qualität in der Regel auch einen höheren Anschaffungspreis. Wie sich in der entscheidenden Phase der industriellen Einführung der Mikroelektronik ein Umdenken beim Anwender vollzogen hat, zeigen die Angaben in der Tafel 1. Demnach ist er neuerdings offensichtlich bereit, für beste Qualität einen höheren Preis zu zahlen, weil nämlich bei der Bewertung der Gebrauchseigenschaften der Stellenwert des Preises deutlich zurückgeht. Bei Betrachtung der Stillstandskosten eines Walzwerkes in Höhe von etwa 50 TM je Stunde (ohne Berücksichtigung des Produktionsausfalls) und des gelegentlich einem Kleinwagen nahekommenden Preises für ein Elektronik-Reservebauteil wird diese Einsicht sofort verständlich. Außerdem ergibt sich daraus zwingend, da selbst bei verbesserten Qualitätsmerkmalen Ausfälle prinzipiell unvermeidbar sind, die Reparatur- bzw. Fehlersuchzeiten drastisch zu reduzieren. Und sind eben z.B. die Ausfallursachen in „verschmutzten Kontakten" zu suchen, die infolge der eingangs erwähnten Abweichung von der technologischen Disziplin entstanden, wird die Fehlersuche erschwert und der genannte Kostensatz schlägt mehrfach zu Buche.

Ausgehend von derartigen wirtschaftlichen Überlegungen ergeben sich zwangsläufig meßbare Qualitätsanforderungen an die Elektronik einer Automatisierungsanlage, die sich — unterstellt man dabei die Realisierung aller übrigen Merkmale — insbesondere im Ausfallverhalten repräsentieren. Dementsprechend sind unter Beachtung der aktuellen Möglichkeiten i.a. Ausfallraten gemäß Tafel 2 zu verwirklichen. Sie zwingen zu einer systematischen Zuverlässigkeitsarbeit, die mittels qualitativer und quantitativer (vorteilhaft rechnergestützter) Analyse- und Synthesemethoden ein iteratives Erreichen dieses Qualitätszieles sicherstellt [2]. Betrachtet man gleichzeitig die internationalen typischen Werte für die Anlieferungsqualität von Bauelementen (Tafel 3, ppm-Konzept), zeigen sich die als notwendig errechneten Ausfallraten als nicht unmittelbar erreichbar. Im Zusammenhang mit den Kosten für Fehlersuche und -beseitigung begründet sich damit der Zwang, Qualitätssicherungsmaßnahmen bereits (bzw. insbesondere) auf der niedrigsten Komplettierungsstufe der Bauelemente anzusetzen, da die Kosten zum Beseitigen eines Defektes (z.B. Auffinden/Auswechseln eines fehlerhaften Schaltkreises) mit jeder der Stufen Bauelement — Baugruppe — Einrichtung/Gerät — Anlage um mehr als das Doppelte wachsen [3]. Selbst umfangreiche Qualitätssicherungsmaßnahmen stoßen aber auf objektive Grenzen, so daß natürlich auch das Systemkonzept unter dem Gesichtspunkt bestehender Qualitätsanforderungen zu entwerfen ist (Verzicht auf intolerante Perfektion durch Einsatz fehlertolerierender Maßnahmen bzw. redundanter Schaltungen u.ä.).

2. In-situ-Qualitätssicherungssystem — Eine Übersicht

In ein wirksames Qualitätssicherungssystem müssen grundsätzlich alle an der Projektdurchführung (z.B. zur Realisierung eines Walzwerkes) beteiligten Struktureinheiten eines Betriebes eingebunden sein. Dabei ist die Intensität ihrer Mitwirkung in den verschiedenen Realisierungsabschnitten selbstverständlich unterschiedlich (Bild 1). Die den Bereichen zukommenden Schwerpunktaufgaben sind in der Tafel 4 zusammengestellt. Sie fußen auf einer nach Herkunft und Verbindlichkeit differenzierten Reihe von Anforderungen (wie z.B. TGL-, DIN-, IEC-, MIL-Vorschriften bzw. -Empfehlungen, interne Herstellerrichtlinien, vertragliche Vereinbarungen u.a.). Der Anteil Forschung/Entwicklung ist der Vollständigkeit halber mit dargestellt, obwohl er nur mittelbar zum auftragsgebundenen Herstellungsprozeß gehört, allerdings mit seinen Leistungen der Rahmen für die Realisierungsbedingungen abgesteckt wird. Im Zuge der Abrechnung des Pflichtenheftes muß die Entwicklung — vor allem gestützt auf die verschiedensten Erprobungsstufen — ein praktisch risikofreies Ergebnis (Erzeugnis, Anlage, System) der Serienfertigung bzw. der Projektierung übergeben. Darüber hinaus hat sie ebenfalls sicherzustellen, daß qualitätssteigernde Sonderprüfungen während der Fertigung (vgl. Abschnitt 3) auf den absolut unumgänglichen, jedoch notwendigen Umfang beschränkt werden.

Die Materialwirtschaft (Einkauf) ist ausdrücklich nicht dargestellt, obwohl dieser Bereich (in Verbindung mit der Wareneingangskontrolle) entscheidend die Qualität aller Zulieferungen mitbestimmt (vgl. Abschnitt 4).

Besonders muß die Bedeutung der Qualitätsinspektion (TKO) hervorgehoben werden. Dieser gegenüber anderen unabhängige, gewissermaßen neutrale Bereich ist letztlich für die gesamte Qualitätszu-

Tafel 1. Wertschätzung von Gebrauchseigenschaften im Verhältnis zum Preis durch den Anwender (nach Recherchen der EOQC-European Organization of Quality Control)

Gebrauchseigenschaften	1968	1980	1983
Qualität	**48**	**78**	**82**
Preis	52	22	18
Zuverlässigkeit	**32**	**73**	**79**
Preis	68	27	22

Tafel 2. Notwendige Ausfallraten von Komponenten einer Automatisierungsanlage

Komplettierungsstufe	Ausfallrate λ/h^{-1}
Gefäß (Schrank, Pult)	$\leqq (0{,}1 \cdots 0{,}2)\ 10^{-8}$
Baugruppe/Karteneinschub	$\leqq (5 \cdots 10)\ 10^{-6}$
Bauelement	$\leqq (50 \cdots 100)\ 10^{-9}$

Tafel 3. Typische Werte für die international übliche Bauelemente-Anlieferungsqualität (ppm-parts per million)

Digitale-IC's	etwa 1000 ppm (etwa 1‰ Ausfall)
Lineare-IC's	etwa 800 ppm
Kondensatoren	etwa 500 ppm
Widerstände	etwa 50 ppm
RAM's	etwa 1500 ppm

Tafel 4. Schwerpunktaufgaben zur Qualitätssicherung

EMV Elektromagnetische Verträglichkeit; ZV Zuverlässigkeit; GAB Gesundheits-, Arbeits- und Brandschutz; TUL Transport, Umschlag, Lagerung; IB Inbetriebsetzung

Zuständiger Bereich	Schwerpunktaufgaben
Forschung und Entwicklung	Systemrahmenbedingungen für Hardware und Software (Bauelementeeinsatz mit secondsource, worst-case-Dimensionierung, funktionssichere Gestaltung, Diagnose, Programmierung u.a.); anwendernaher Prototypentest auf den verschiedenen Entwicklungsstufen (u. U. selbst jenseits der zulässigen System-Einsatzbedingungen, ZV-Programm-Nachweis); Dokumentation; Berücksichtigung vorhandener bzw. Initialisierung neuer fertigungs- u. prüftechnolog. Bedingungen, Projektierungs- und Behandlungsvorschriften einschließlich leistungsfähiger Diagnose-/Servicetechnik; Kontrolle der Ergebnisse auf jeder Entwicklungsstufe (möglichst durch unabhängige Personen); Verwertung der Analyseergebnisse aus der Datenrückmeldung
Absatz	Ermittlung relevanter Kundenwünsche, vertragliche Vereinbarung realisierbarer Qualitätsparameter, der Datenrückmeldung sowie von Mitarbeit und Pflichten des Betreibers, Organisation der IB, Beschaffung von Vergleichsdaten
Projektierung	Konsequente Anwendung des Vorschriftenwerks (Schwerpunkt Notation der AST); systematisch präventive ZV-, EMV-, GAB-Arbeit für worst-case-Bedingungen; Dokumentation; Software-Test; Analyse der Datenrückmeldeergebnisse
Konstruktion/Technologie	Konsequente Anwendung des Vorschriftenwerks, Beachten der fertigungs- und prüftechnologischen Bedingungen, Realisierung neuer dsbzgl. technologischer Verfahren
Werkstatt	Lückenlose technologische Disziplin (konsequentes Einhalten von Behandlungsvorschriften, auch bei TUL)
Prüffeld	Funktions-, Komplexprüfung, Abfangen der Frühausfallphase (BE-Vorkontrolle, -Voralterung, Komponentenvoralterung, Dauertest des Enderzeugnisses, Störstatistik)
Montage	Konsequente Einhaltung aller Vorschriften (TUL, Aufstellung, Verkabelung, Behandlung)
Inbetriebsetzung	Konsequente Beachtung der Vorschriften, Dokumentation der Ergebnisse (Änderung), Störstatistik (Datenrückmeldung)
Betreiber	Beachten der Bedien- und Wartungsvorschriften, Datenrückmeldung
Qualitätskontrolle (TKO)	Unmittelbare oder mittelbare Einflußnahme auf alle Teile des Produktions- und Reproduktionsprozesses durch Kontrolle, Koordination, Konsultation

verlässigkeitssicherung verantwortlich. Er überwacht die vollständige und korrekte Durchführung aller diesbezüglichen Maßnahmen und übernimmt somit zwangsläufig bestimmte innerbetriebliche Koordinierungsfunktionen.

Aufmerksamkeit verdient ebenfalls die Datenrückmeldung [13]. Eine sorgfältig geführte Störstatistik in Form einer Begleitkarte bzw. eines „Log-Buches" für jedes elektronische Erzeugnis ist die einzige vernünftige Alternative zum Erkennen und Beseitigen von Schwachstellen sowie zum Ermitteln der Betriebszuverlässigkeits-

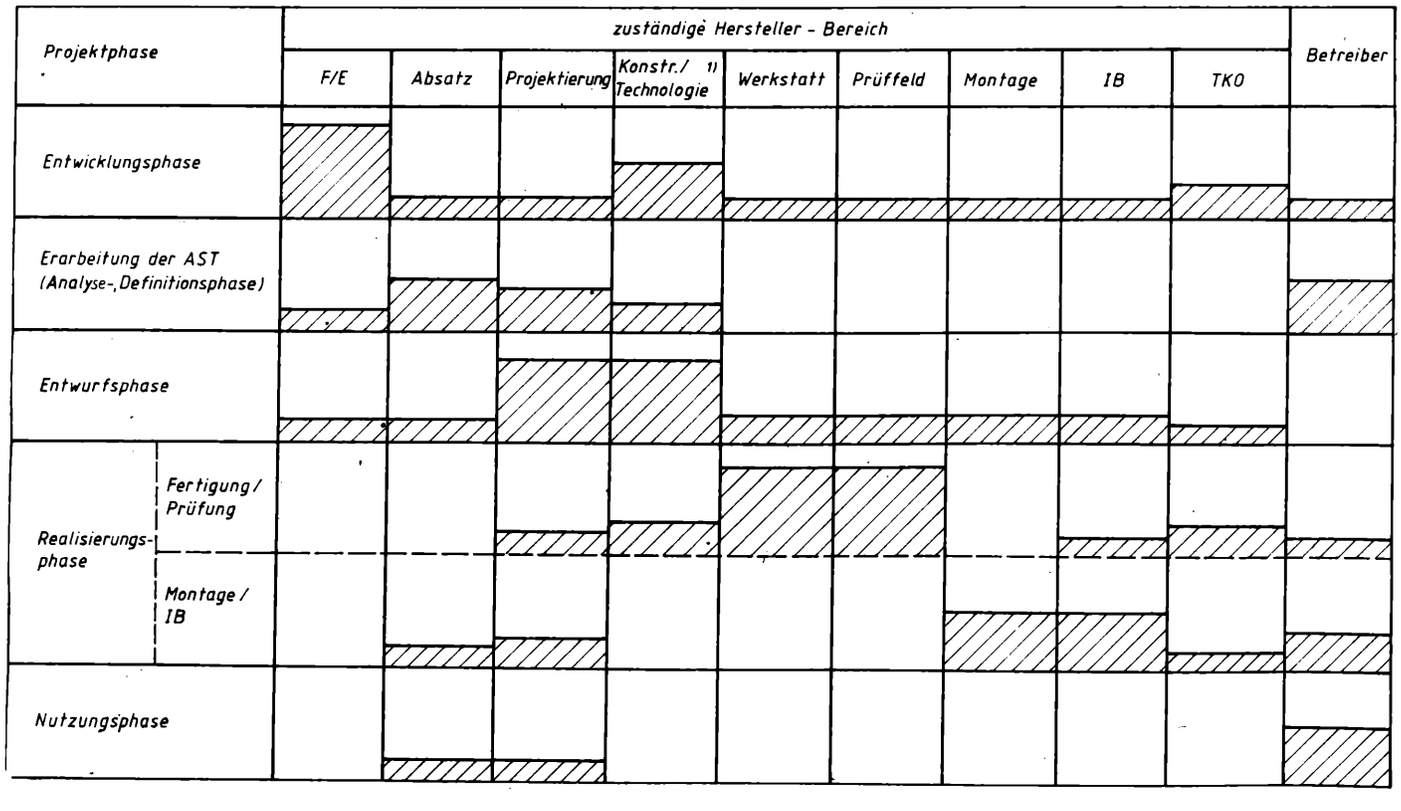


Bild 1. Intensität der Beteiligung an der Qualitätssicherung innerhalb der Projektabwicklung

1) einschließlich Prüftechnologie; *F/E* Forschung und Entwicklung; *IB* Inbetriebsetzung

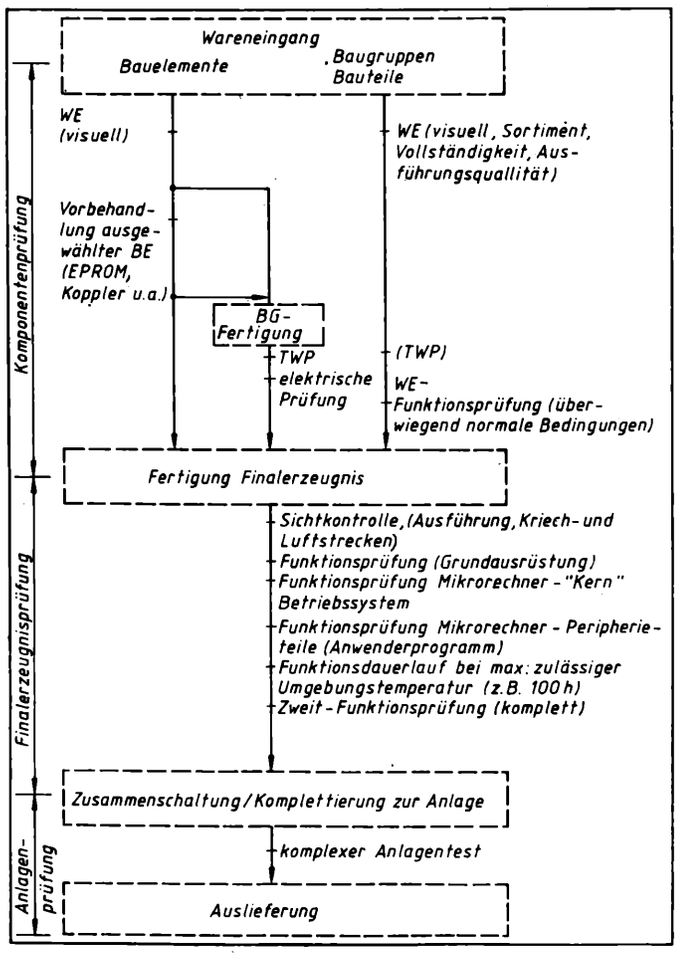


Bild 2. Ablauf der Fertigungsprüfung *TWP* Temperaturwechselprüfung

werte. Diese aussagefähige Unterlage dokumentiert Legende und aktuellen Zustand und bildet letztlich auch die Grundlage für die Bestimmung des Aussonderungszeitpunktes (z. B. bei Erreichen der zugelassenen Anzahl von Reparaturen). Zur Auswertung bietet sich die Rechnerstützung an, gleichzeitig ist sie die qualifizierte Grundlage für die Bewertung der Güte von Zulieferungen. Diese verantwortungsvolle Aufgabe obliegt der „Erzeugnisbetreuung". Mit der von ihr vorzunehmenden reaktionsschnellen Rückkopplung der Ergebnisse (im Sinne eines Regelkreises) von Inbetriebnahme und Betreiber, aber auch der Werte aus der Fertigungsprüfung sorgt sie letztlich für die kurzfristige Beseitigung von Schwachstellen durch eine Änderung der Erzeugnisdokumentation und ggf. der verschiedensten internen Richtlinien und Vorschriften.
Die Balkenhöhe im Bild 1 stellt das Maß für die Intensität des Engagements innerhalb des gesamten Entwicklungs- und Herstellungsprozesses der betroffenen Struktureinheiten dar. Geringe Höhe drückt die Einflußnahme durch konsultative, koordinierende und kontrollierende Mitwirkung, also eine starke Vermaschung aller Beteiligten aus.

Bild 3. Vorbehandlung von Festwertspeicherschaltkreisen

- *Sichtkontrolle (mechanische Beschädigung)*
- *Anfangslöschung (teilweise)*
- *1. Testmuster*
- *Temperaturwechselprüfung 12 Zyklen, -30 ... 70°C, 1,5 k/min*
- *Kontrolle Datenerhalt (unter Normalbedingungen)*
- *HTL (Hochtemperaturlagerung 125°C, 24 Std.)*
- *Kontrolle Datenerhalt (unter Normalbedingungen)*
- *Löschung*
- *2. Testmuster*
- *HTL (125°C, 24 Std.)*
- *Kontrolle Datenerhalt (unter Normalbedingungen)*

3. Qualitätssicherung im Fertigungsprozeß

Da diesem Prozeßabschnitt bei der „Produktion bzw. Erhaltung und Weiterentwicklung (durch die Auswertung der Datenrückmeldung) projektierter und/oder entwickelter Qualität" besondere Bedeutung zukommt, bedarf er einer ausführlichen Untersuchung. In diesem Zusammenhang ist zu betonen, daß dazu der Fertigung eine praktikable, zugeschnittene Technologie kombiniert mit klaren und handhabbaren Vorschriften (Arbeitsunterweisungen, Behandlungsvorschriften u.a.) zugrunde liegt.
Den Ablauf zur Prüfung von Erzeugnissen, Anlagen bzw. Anlagenteilen (auch in SP-Technik) zeigt Bild 2. Er wird innerhalb der (System-)Entwicklung gemeinsam mit der Technologie/Prüftechnologie festgelegt bzw. präzisiert. Ihm liegt wegen der in Abschnitt 1 zitierten Kostenvervielfachung die Strategie [12] zugrunde, in einer möglichst niedrigen Komplettierungsstufe ein Maximum an Fehlern zu finden, also eine qualitativ hochwertige, durch geringen Inbetriebnahmeaufwand gekennzeichnete Anlage zu liefern. Die Aufgabe besteht somit darin, alle exemplarischen oder projektierten Fehler zu finden, Fehlfunktionen auch unter Grenzbedingungen zu erkennen sowie die Frühausfälle abzufangen. Da im Anlagenbau dominierend Baugruppen als unterste Komplettierungsstufe verarbeitet werden, sind die direkten unmittelbaren Möglichkeiten der Einflußnahme auf Qualität und Zuverlässigkeit hardwaremäßig eingeengt.
Bei den für die 3 Prüfabschnitte bereitstehenden Hilfsmitteln handelt es sich um Prüfvorschriften oder -programme, spezielle (z. B. [11]) und/oder handelsübliche Prüfgeräte sowie andere Hilfsmittel. Zunehmend wird aber der Einsatz von universellen strukturell und funktional testenden Geräten (ggfs. kombiniert mit In-circuit und Beanspruchungstests) wirtschaftlicher [15], da die vereinheitlichten und zum Teil standardisierten Schnittstellen infolge der dominierenden BUS-Struktur geeignete Voraussetzungen bieten.

3.1. Komponentenprüfung

Für diesen Abschnitt ist die qualitätssichernde, mit dem Hersteller abgestimmte Vorbehandlung von Bauelementen hervorzuheben [3]. Beispielsweise erreichen gemäß Bild 3 behandelte Festwertspeicher (bei Beachtung des Umgebungslichteinflusses [9] [10]) nach eigener Erfahrung etwa 10fach höhere MTBF-Werte. Die auf den technologischen Einsatzfall orientierte Eingangsprüfung der (überwiegend elektronischen) Leiterplatten-Baugruppen erfolgt auf der Grundlage der Hersteller-Kennblätter mit dem Ziel des Nachweises der „allgemeinen" Funktionsfähigkeit. Für die Eigenproduktion von Baugruppen sowie für ausgewählte Zulieferungen wird zuvor eine passive Temperatur-Wechsel-Beanspruchung (TWP) mit folgenden Parametern vorgenommen:

- 12 Zyklen
- Temperaturbereich − 30 °C ··· + 70 °C
- Verweildauer je 1 Stunde
- Temperaturgradient 1 ··· 1,5 K/min.

Ein Verzicht auf derartige zusätzliche Wareneingangsprüfungen ist infolge der realen Anlieferqualität nicht möglich. In besonders kritischen Ausnahmefällen (z. B. Speicher-Karten) empfiehlt sich sogar, aktiv unter erhöhter thermischer Beanspruchung nach unterschiedlichen Verfahren zu testen.

3.2. Prüfung der Finalerzeugnisse

Sie erfolgt nach zwei Gesichtspunkten:

- Nachweis der Hardwarefunktion unter Regie der jeweiligen Betriebssystem-Software
- Nachweis der projektbezogenen Funktion mit dem gesamten implementierten Software-Paket.

Für die erstgenannte Zielstellung existieren einfache Prüfprogramm-Bausteine, die — vom Betriebssystem aktiviert — eine Signalsimulation bzw. -anzeige extern oder an der Baugruppe direkt erlauben. Die notwendige Prüftechnik reduziert sich auf handelsübliche Programmier- oder Servicegeräte, auf Simulationsadapter und Schnittstellennachbildungen.
Sofern der Funktionsnachweis der gesamten Software nicht Bestandteil der Anlagenprüfung (Komplexprüfung) sein muß, wird er durch umfangreiche erzeugnisinterne Maßnahmen (Diagnoseprogramme, Anzeige-, Bedientableaus o.ä.) unterstützt. Der unumgängliche umfassende Programmtest [17] benötigt selbst bei transparenter modularer Struktur der Software einen Zeitaufwand mindestens in der Größenordnung der gesamten „Hardware-Prüfung".

Tafel 5. Analyse von bei der Fertigungsprüfung erkannten Fehlern
IB Inbetriebsetzung; CAE Computer Aided Engineering; TUL Transport, Umschlag, Lagerung

Fehlerschwerpunkte	Fehlerursachen	Ansatzpunkte zur Fehlerreduzierung
Projektierung	— unzureichende Qualifikation — lückenhafte Bauteile-, Programmoduldokumentation — unzureichende Aufgabenbeschreibung — Vielfalt von Programmbeschreibungsformen	— Vereinheitlichung u. Standardisierung von Programm-Beschreibungsmitteln (Eingabefachsprachen) — Nutzung einer beschreibenden Unterlage für verschiedene Aufgaben (Aufgabenstellung, Programmierung, IB) — unabhängige Software-Inspektion — Rechnerstützung (CAE)
Fertigung	— traditionelle Ursachen (Fehlverdrahtung u.a.) — unsachgemäße Behandlung (fehlende technolog. Disziplin) — Unterlagenqualität — Arbeitsplatzgestaltung	— gezielte Schulung — verbesserte Unterlagengestaltung — Kontrolle der technologischen Disziplin — angepaßte Arbeitsplätze — Entlohnung unter Berücksichtigung der Einhaltung von Technologie u. Fehleranzahl
Baugruppen (Zulieferungen)	— mangelhafte Anlieferqualität — Einsatz von ungetesteten BE-Ausweichtypen — Nichtbeachtung von Behandlungsvorschriften (einschließlich TUL)	— Verbesserung der Anlieferqualität — screening von Bauelementen — erweiterter Baugruppen-Test (in-circuit, Funktions- u. Systemtest) — Burn-in-Test (bei angepaßten Bedingungen) — beschädigungsfreier TUL-Prozeß

Dabei hängt die Zahl der erkannten Softwarefehler in starkem Maße von

- der Qualifikation des Prüfers
- den Simulationsbedingungen bzw. -möglichkeiten des echten Prozesses
- dem verfügbaren Meßmittel- bzw. Prüfmittelsortiment

ab.
Der Prüfgang „Funktionsdauerprüfung bei erhöhter Temperatur" wird im allgemeinen je Finalerzeugnis, im Sonderfall auch während der Komplexprüfung (vgl. Abschn. 3.3) mit nachstehenden Parametern durchgeführt:

- Dauer: 100 h
- Einspeisung: Normalnetz, nicht geschaltet
- Temperatur: obere zulässige Umgebungstemperatur (ohne Wechsel)
- Funktionsüberwachung im Selbst-Test.

Mit diesem Verfahren werden verbleibende reversible temperaturabhängige Exemplar-, ggf. aber auch noch typische Hardware-Fehler auf Baugruppen ermittelt.
Eine Analyse der insbesondere in der Phase der Finalerzeugnisprüfung erkannten Fehleranteile

- Projektierungsfehler 0,45 · · · 0,60 (ohne Softwarefehler)
- Fertigungsfehler 0,30 · · · 0,45
- Baugruppen 0,05 · · · 0,10

offenbart die Ansatzpunkte zur Qualitätsverbesserung und ggf. zum Senken des Prüfaufwandes (Tafel 5).

Tafel 6. Kriterien für eine Qualitäts- und Abnahmevereinbarung
WE Wareneingangskontrolle

- Geltungsbereich (Termine, Fristen, Typen, Varianten u.a.)
- Vertragliche Grundlagen (Rahmenvertrag)
- Vereinbarungsziel
  - — Abfangen der Frühausfallphase
  - — Rückweisquote pro Liefereinheit
  - — Ausfallrate pro Liefereinheit
  - — Besondere Einsatzbedingungen (z.B. Netzverhältnisse, Konfigurationsabhängigkeiten)
- Zuverlässigkeitserhöhende Maßnahmen
  - — ggf. entsprechende Vereinbarung mit Sekundärzulieferern, WE ihrer Lieferungen
  - — Vorbehandlung der Liefereinheiten
  - — Prüfumfänge, -methoden, -ziele
  - — Führen einer internen Störstatistik, Informationspflicht des Partners über die Auswertung, insbesondere über Qualitätseinbrüche
  - — TUL-Vorschriften (Verpackungs-, Transportart u.a.)
- Organisatorische Regelungen
  - — Kennzeichnung der Liefereinheit nach Qualitäts-/Prüfniveau, Produktionszeitpunkt u.ä.
  - — Reparaturzeiten, Kennzeichnung (auch der Reparaturanzahl), zulässige Reparaturzahl, Information über den Fehler (LOG-Buch), Prüfumfang (z.B. sollte jede reparierte Liefereinheit wie eine neu produzierte geprüft werden)
  - — Dokumentationsumfang (unter Einbeziehung spezieller Behandlungsvorschriften, der Dokumentation für Dritte, der Fremdsprachigkeit)
  - — Systempflege (mit Änderungsdienst für die Dokumentation)
  - — Kriterien für exemplarische und allgemeine Liefersperren (z.B. bei Nichtreproduzierbarkeit eines Fehlers bei einem Exemplar)

3.3. Anlagenprüfung

Um restliche Projektierungsfehler (Schwerpunkt Software) zu erkennen und um den Inbetriebsetzungsaufwand (durch Voreinstellung/Parametierung u.ä.) zu senken, wird mindestens für Erstprojekte bzw. -anlagen auf eine Komplexprüfung (Zusammenschaltung der entscheidenden Anlagenteile) orientiert. Dazu werden die zu liefernden „Final"-Einheiten möglichst bei Berücksichtigung der späteren Einsatzbedingungen (wie Leitungsart, -länge u.ä.) zu Anlagen bzw. Teilanlagen zusammengeschaltet. Die Signalspiele erfolgen manuell- oder rechnergesteuert nahe den Echtzeitbedingungen, die Gesamttestdauer liegt bei 2 bis 6 Wochen intermittierenden oder ununterbrochenen Betriebs. Der Erfolg rechtfertigt diesen erheblichen ökonomischen Aufwand.

4. Qualität von Zulieferungen

Die Qualität aller Zulieferungen (Bauelemente und Baugruppen/Bauteile) hat selbstverständlich Bedingungen zu genügen, die ein Erreichen des Endzieles zulassen. Die Verantwortung für das Durchsetzen dieser Forderungen obliegt in Zusammenarbeit mit der Entwicklungsabteilung i.a. dem kommerziellen Bereich, der zu diesem Zwecke geeignete Vereinbarungen zu Anlieferqualität und Abnahmebedingungen (ggf. unter Nutzung von [14]) mit dem Hersteller des Zulieferteils abschließen muß (vgl. dazu Tafel 6). Seine ausgereifte Wareneingangskontrolle überwacht die Einhaltung der vertraglich vereinbarten Leistungsmerkmale (vgl. Bild 2).
Sollte dieser Produktionskooperation eine Zusammenarbeit bei der Entwicklung des Zulieferteils vorangehen (Wissenschaftskooperation), sind spezielle organisatorische Regelungen zwischen den Partnern zur Sicherung des gemeinsam fixierten Entwicklungszieles sehr notwendig [16]. Besonderes Augenmerk muß dabei auf Erarbeitung und Verwirklichung eines durchgängigen, gemeinsam von allen Partnern getragenen Qualitäts-/Zuverlässigkeitsprogramms (vgl. Tafel 4) gerichtet werden.

5. Ergebnisse

Gilt als Maßstab für alle qualitätssichernden Aktivitäten die Zahl der Ausfälle sowie ihre Tendenz, bestätigen erste positive Erprobungsergebnisse mit **audatec** — Anlagen [1] im In- und Ausland die Richtigkeit der eingeleiteten Maßnahmen. Die Auswertung macht darüber hinaus aber auch die Notwendigkeit des kontinuierlichen, konsequenten Ausbaus des übergreifenden Qualitätssicherungssystems — als sogenannte „Qualitätsschiene" — in Zusammenarbeit mit den Kooperationspartnern sowie in Übereinstimmung mit den Kundenwünschen und der internationalen Entwicklung deutlich.
Infolge der zu beobachtenden weiteren Hardware-Kompression und Software-Expansion ist dabei verstärkt die Software in das Qualitätssicherungssystem einzubeziehen. Die Erfahrungen bei der industriellen Einführung der SP-Technik bestätigen, daß die bezüglich der Qualitätssicherungsmaßnahmen bestehende Modellvorstellung einer Kettenschaltung richtig bleibt. Dabei führen nur aufeinander abgestimmte Maßnahmen, also ihre Durchführung zum richtigen Zeitpunkt innerhalb der technologischen Kette, zum kostengünstigen Optimum. Ein schwaches Glied würde die Wirksamkeit der ganzen Kette in Frage stellen. Die somit also notwendige durchgängige „Technologische Disziplin" ist selbstverständlich auch an neue erlernbare Verhaltensweisen gebunden, d.h., systematische Methoden zur Qualitätssicherung müssen unbedingt integraler Bestandteil von Qualifizierungsmaßnahmen sein.

Komplexität sowie Schwierigkeitsgrad dieses bedeutenden Aufgabengebietes innerhalb des gesamten Produktionsprozesses zwingen natürlich zum Ausbau der Rechnerstützung (z. B. für Prüfung und Datenrückmeldung innerhalb eines CAQS-computer aided quality system). Mit Planung und Bau flexibler, automatisierter, d. h. bedienarmer Fertigungssysteme wird diesem Bedürfnis verstärkt Rechnung getragen werden.

Literatur

[1] *Krause, J.:* **audatec**-mikrorechnergestütztes Konzept zur Steuerung und Regelung in Automatisierungsanlagen. ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 1, S. 5—9
[2] *Krause, J.:* Probleme der Zuverlässigkeit bei informationselektronischen Einrichtungen für Stromrichteranlagen. ELEKTRIE, Berlin 30 (1976) 7, S. 357 bis 359
[3] *Birolini, A.:* Bedeutung der Prüfung und Vorbehandlung elektronischer Bauteile und Geräte. Bull. SEV/VSE 72 (1981) 15, S. 805—811
[4] *Lombardini, R.:* Vorbehandlung integrierter Schaltungen. Bull. SEV/VSE 72 (1981) 15, S. 820—825
[5] *Bajenesců, T. I.:* Zuverlässigkeitsprobleme bei Halbleiterspeichern und Mikroprozessoren. Elektroniker T. 1 (1984) 9, S. 25—34, T. II (1984) 10, S. 49—57
[6] *Birolini, A.:* Vorbehandlung elektronischer Bauelemente. Elektroniker (1983) 8, S. EL 15 — EL 21
[7] *Fischer, W.:* Frühausfälle mikroelektronischer Bauelemente und Möglichkeiten ihrer Selektion. Nachrichtentechnik, Elektronik, Berlin 34 (1984) 12, S. 462 bis 465
[8] Test Methods and Procedures for Microelectronics. MIL-STD 883 A. Ausg. November 1974
[9] INTEL Data Catalog (1977), S. 3—68
[10] *Wenzel, B.:* Umgebungslichteinfluß auf EPROM's. radio fernsehen elektronik Berlin 31 (1982) 4, S. 228—230
[11] *Schmiedtke, P.;* u. a.: Qualitätssicherung digitaler Schaltungen durch mikrorechnergesteuerte Prüfeinrichtungen. VEB Komb. Automatisierungsanlagenbau. Wiss.-techn. Informationen 18 (1982) 6, S. 242—245
[12] *Bödecker, K.;* u. a.: Moderne Prüftechnologie sichert hohe Qualität der Erzeugnisse. WTI des KAB/KEA 19 (1983) 5, S. 206—210
[13] *Hendrichs, S.:* Datenrückmeldesystem, eine Methode zur Qualitätsanalyse. Der VEM-Elektro-Anlagenbau Berlin, 12 (1976) 1, S. 10—16
[14] TGL 2815 Technische Bedingungen für den Sonderbedarf. Ausg. Dezember 1977
[15] *Oehme, S.;* u. a.: Soft- und Hardwarekomponenten eines mikrorechnergestützten Diagnosesystems für digitale elektronische Baugruppen. Feingerätetechnik, Berlin 33 (1984) 11, S. 493—498
[16] *Krause, J.:* Organisation der Zusammenarbeit mit Kooperationspartnern. ELEKTRIE, Berlin 29 (1975) 12, S. 662—664
[17] *Zerbst, H.-U.:* Sicherung der Softwarequalität. ELEKTRONIK 14 (1981) S. 59 bis 64

EA 5651

Berichtigung

In der Bildunterschrift zum Titelbild im Heft 3/86 müssen die drei letzten Zeilen heißen:

Unser Bild zeigt Mehrlagenleiterplatten, die auf der Basis von LEW-Leiterplattenvormaterial hergestellt wurden.

Die Redaktion

Als Nachauflagen erscheinen in diesen Tagen im VEB Verlag Technik

A. Recknagel
Physik
Schwingungen und Wellen, Wärmelehre
14., unveränderte Auflage. 268 Seiten, 238 Bilder, 15 Tafeln. Kunstleder 16,— Mark. Bestell-Nr. 552941 8

A. Recknagel
Physik
Elektrizität und Magnetismus
14., unveränderte Auflage. 380 Seiten, 432 Bilder, 10 Tafeln. Kunstleder 18,— Mark. Bestell-Nr. 552834 3

K. Lunze
Theorie der Wechselstromschaltungen
6., bearbeitete Auflage. 272 Seiten, 223 Bilder, 11 Tafeln, 1 Beilage. Kunstleder 22,50 Mark. Bestell-Nr. 553452 4

Die Redaktion

Meßwerterfassungs- und Übertragungssystem mit Lichtwellenleitern MELOK 10–1

D. Engelage, KDT; S. Scheibe, KDT; P. Spangenberg, KDT; K. Tischer; Zittau

Bei der Konzeption von Automatisierungsanlagen werden in zunehmendem Maße elektronische Verfahren zur Messung, Steuerung und Regelung sowie zur Diagnose herangezogen. Damit sind prinzipielle Veränderungen im Aufgabenumfang und in der Struktur der Sekundärtechnik verbunden. Digitale Wirkprinzipien mit relativ niedrigen Signalpegeln gewinnen dominierende Bedeutung. Zur Signalübertragung werden Lichtwellenleiter (LWL) verwendet. Der Einsatz der Lichtwellenleitertechnik ist besonders für Automatisierungsanlagen im industriellen Bereich keinesfalls nur als Ersatzlösung für Kupferverkabelung anzusehen, sondern bedeutet auch technische Vorzüge, die durch die geeignete Strukturierung der Automatisierungstechnik zur Geltung gebracht werden müssen.
Die bessere Auslastung der Lichtwellenleiterkabel erfordert für die Informationsübertragung digitale Signale, die seriell übertragen werden. Die Eigenschaften der Lichtwellenleiter machen sie zum geeigneten Medium zwischen Rechnern der Automatisierungstechnik. Wie im weiteren gezeigt wird, bestehen aber auch bei nicht durch Mikrorechner gestützten Informationssystemen vorteilhafte Einsatzfälle für Lichtwellenleiter.

1. Struktur der Informationsübertragung und Gerätekonfiguration des MELOK 10-1

Das vorzustellende Meßwerterfassungssystem bildet eine modulare Konfiguration, die mehrere Meßstellen zyklisch ausliest und die Meßwerte seriell über 200-µm-Stufenindexlichtwellenleiter an einen Kleinrechner überträgt. Das Meßwerterfassungssystem befindet sich seit 1984 im KKW „Bruno Leuschner" Greifswald in Betrieb. Die Erfassungsbaugruppe ist dabei Sonderbedingungen durch erhöhte Umgebungstemperaturen ausgesetzt. Das Bild 1 zeigt die Gerätekonfiguration. Das System hat die Aufgabe, Impulszahlen, die etwa um eine Größenordnung schwanken können, aufzunehmen und zur Verarbeitung weiterzuleiten. Die beiden Baugruppen sind aus Leiterkarten des Formates 95 × 170 mm zusammengesetzt, die mit je einem elektrischen Bus in EGS-Gehäusen eingebaut sind.
In der Erfassungsbaugruppe werden die aktuellen Werte der einzelnen Meßkanäle am Ende des Meßzyklus in ein Register übernommen. Gleichzeitig wird die 4-bit-Meßstellenerkennung geladen. Die Register der einzelnen Meßkanäle sind in Reihe geschaltet und werden für die Datenübertragung seriell ausgelesen. Am Anfang der Registerkette steht ein Synchronisationsregister, das ein 16-bit-Synchronwort bildet.
Das Datentelegramm setzt sich somit aus 16-bit-Synchronwort und Meßstellenzahl mal 16-bit-Informationswort (12-bit-Meßwert und 4-bit-Meßstellenkennung) zusammen.
Das gewählte Prinzip der Registerkette gestattet in einfacher Weise die Anpassung an unterschiedliche Meßstellenzahlen. Die für die Übertragung erforderliche Zykluszeit wird von der Meßstellenanzahl und der Taktfrequenz bestimmt. Da in optoelektronischen Kurzstreckensystemen im allgemeinen keine Bandbreitenprobleme bestehen, können hohe Übertragungsgeschwindigkeiten angewendet werden. Bei einem 12kanaligen Aufbau sind bei einer Taktfrequenz von 10 kHz etwa 21 ms Sendedauer für einen vollständigen Sendezyklus erforderlich.
Für die eigentliche Lichtwellenleiter-Übertragungsstrecke werden die Sendewörter als Anpassung an die Kanaleigenschaften mit einem 1 B/2 B-Code kodiert. Die Eigenschaften der optischen Kompo-

Prof. Dr.-Ing. *Dieter Engelage* ist Forschungsleiter des Applikationslabors, Dipl.-Ing. *Sigfried Scheibe*, Dipl.-Ing. *Peter Spangenberg* sind wissenschaftliche Assistenten, Dipl.-Ing. *Knut Tischer* ist Forschungsstudent an der Ingenieurhochschule Zittau, Wissenschaftsbereich Informations- und Automatisierungstechnik.

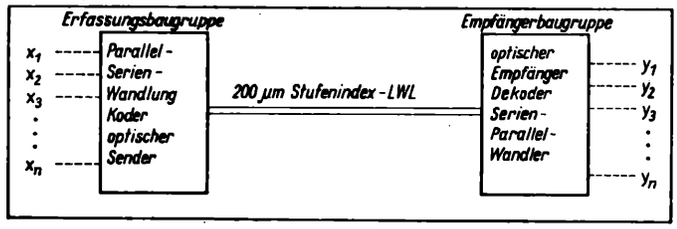


Bild 1. Hardwarekonfiguration des MELOK 10-1

nenten gestatten Übertragungsentfernungen bis etwa 1 km. Bei Verwendung besonders hochwertiger optoelektronischer Elemente lassen sich bei Bedarf Entfernungen bis etwa 5 km mit vertretbarem Aufwand ohne Zwischenverstärker realisieren.
Die Empfängerbaugruppe wandelt die eintreffenden Lichtimpulse in elektrische Signale um, dekodiert diese und regeneriert den Übertragungstakt.
An den Kleinrechner wird in paralleler Form das Informationswort einschließlich der Meßstellenkennung übergeben. Zeitgleich mit der Übergabe wird das nächste Datenwort der Serien-Parallel-Wandlung unterzogen. In der Empfangsbaugruppe werden Synchronisationszeichen und Meßstellenanzahl hardwaremäßig gesondert ausgewertet.

2. Anpassung des MELOK 10-1 für Messungen in Kernkraftwerken

Meßwerterfassungssysteme müssen an geänderte Aufgabenstellungen anpaßbar sein. Dazu ist der bei MELOK gewählte modulare Aufbau sehr zweckmäßig. Das Prinzip der zyklischen Auslegung aus steckbaren Registerkarten gestattet in einfacher Weise die Variation der Meßstellenzahl und Meßgrößenart. Nach oben hin wird die Zahl der Meßstellen durch das 4-bit-Wort für die Meßstellenkennung begrenzt. Ein Zeitproblem durch die zyklische Auslegung tritt nur in sehr seltenen Fällen auf. Die Erfassung von anderen Meßgrößen erfordert die Anpassung der Eingangsstufen der Meßkanäle. Das ist entweder durch die Substitution der in der Datenerfassungsbaugruppe eingesetzten Zähler und Teiler durch geeignete A/D-Wandler oder durch die zusätzliche Verwendung spezieller Baugruppen, die die Meßwerte in Impulszahlen umkodieren, möglich. Durch das Einschubsystem mit Steckverbindern und BUS-Rückverdrahtung ist eine solche Umrüstung des MELOK schnell durchführbar.
Zur Störfestmachung wurden Netzfilter eingesetzt. Da die zu zählenden Impulse mit Folgefrequenzen von einigen kHz auftreten, reichten für den Anwendungsfall die üblichen Filter- und Abblockmaßnahmen aus.
Für die Empfängerbaugruppe ergaben sich durch den Einsatzort Rechnerraum und durch den hohen optischen Signalpegel am optoelektronischen Empfangsmodul sehr günstige Arbeitsbedingungen. Einsatzfälle, bei denen wichtige Daten übertragen werden, deren Verfälschung oder Unterbrechung hohe materielle Schäden bzw. die Gefährdung von Menschenleben bedeuten kann, erfordern umfangreichere Datensicherungsmaßnahmen. Es ist in diesem Zusammenhang günstig, mikrorechentechnische Mittel einzusetzen. Der Einsatz von Steuerhardware durch Mikroprozessoren erbringt als Nebeneffekt ein qualitativ hochwertiges Erfassungssystem. Die Organisation der Datenübertragung durch den Mikroprozessor hebt die Begrenzung der Meßstellenzahl praktisch auf.
Zusätzlich ist eine beliebige Priorisierung von Meßstellen einschließlich der sofortigen Signalisation gefährlicher Zustände durch Interruptsteuerung möglich.
Mit dem Mikroprozessor lassen sich CRC-Fehlersicherungsverfahren und Mehrfachübertragungen organisieren, die mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit die unerkannte Verfälschung von Meßdaten verhindern. Letztendlich ist die Auswahl zwischen einer konventionellen mikroelektronischen Steuerhardware und einer Mikroprozessorsteuerung eine Frage, die durch den minimalen ökonomischen Aufwand zur Erfüllung der gestellten technischen Aufgaben entschieden wird.

3. Betriebserfahrungen in Kernkraftwerken

Das vorgestellte Meßwerterfassungssystem wurde in einem Kernkraftwerk der DDR installiert. Der Montageablauf erfolgte in einer zur Installation mit Kupferkabeln analogen Technologie. Wegen der kurzen Streckenlänge konnten konfektionierte Lichtwellenleiter verwendet werden. Die Konfektionierung wurde als Besonderheit in Eigenleistung mit einer eigentlich als Reparaturtechnologie vorgesehenen Methodik durchgeführt.
Die Verlegung der Lichtwellenleiterkabel unterschied sich nicht von derjenigen mit Kupferkabeln. Die Lichtwellenleiterkabel wurden ohne besondere Schutzmaßnahmen in offenen Kabelpritschen abgelegt. Nach der Inbetriebnahme ergaben sich bereits nach relativ kurzer fehlerfreier Betriebszeit transiente Störerscheinungen, die irrtümlich auf elektromagnetische Störungen oder auf äußere mechanische Beschädigungen der Lichtwellenleiter zurückgeführt wurden.
Als Fehlerursache erwiesen sich unzulässige Alterungserscheinungen bei den verwendeten optischen Komponenten, die beim Stand der Technik überwunden sind und bei gegenwärtigen optischen Komponenten ausgeschlossen werden können. Nach dem Ersatz dieser Komponenten funktionierte das Meßwerterfassungssystem einwandfrei.
Hervorzuheben ist die Störresistenz gegenüber elektromagnetischen Störungen, die sich auch unter den Bedingungen eines Großkraftwerkes bestätigte. Als Ergebnis des Betriebes des MELOK 10-1 kann festgestellt werden, daß die Qualität der optoelektronischen Elemente der DDR-Produktion den notwendigen Entwicklungsstand besitzen, um auch hochwertige technische Systeme mit besonderen Anforderungen an deren Zuverlässigkeit errichten zu können.

Literatur

[1] Nachnutzungsunterlagen MELOK 10-1. IH Zittau 1984
[2] *Engelage, D.:* Lichtwellenleitertechnik in Automatisierungs- und Energieanlagen. Berlin: VEB Verlag Technik 1986

EA 5647

Wir empfehlen aus dem VEB Verlag Technik

Stochastische Systeme · Grundlagen

Von *G. Wunsch* und *H. Schreiber*. Berlin: VEB Verlag Technik 1986. 2., durchgesehene Auflage. 176 Seiten, 111 Bilder. Kunstleder 13,— Mark. Bestell-Nr. 553325 7

Die Wahrscheinlichkeitsrechnung und Stochastik stellt heute unentbehrliches mathematisches Rüstzeug des Hochschulingenieurs dar. Aus den zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten seien nur die auf den verschiedenen Gebieten anzutreffenden umfangreichen Problemkreise der Zuverlässigkeitsanalyse und der Beseitigung von Störeinflüssen genannt.
Um die vorhandenen sehr umfangreichen Mathematikwerke auf diesem Gebiete durchzuarbeiten, fehlt es den Studenten der technischen Fachrichtungen im allgemeinen an Zeit und auch an Interesse. In bezug auf die strengen Beweisführungen verläßt er sich lieber auf die Mathematiker und setzt voraus, daß sie diese Methoden genügend abgesichert haben. Er benötigt eine Darstellung, die zielgerichtet auf seine Problematik zusteuert und darüber hinaus — mit den Anwendungsproblemen verbunden — entwickelt wird. Dies erfordert, neben der bei einem Autor selbstverständlich vorausgesetzten souveränen Beherrschung des Fachgebietes, großes didaktisches Geschick.
Die Autoren konnten bei der Auswahl und Darstellung des Stoffes auf ihre Lehrerfahrungen an der TU Dresden sowie auf das bereits erschienene Buch von Prof. *Wunsch* „Systemanalyse, Band II" zurückgreifen.
In knapper Darstellung führen sie in die Wahrscheinlichkeitsrechnung ein, legen die Theorie zufälliger Prozesse dar und wenden sie auf Systeme der Informationstechnik an.
Großer Wert wurde darauf gelegt, die Ausdrucks- und Schreibweise den internationalen Gepflogenheiten anzupassen, um dem Leser das Studium größerer und weiterführender Werke zu erleichtern. Die Autoren sind weiterhin um Anschaulichkeit bemüht und fördern durch Querverbindungen das Verständnis.

Die Redaktion

Verbesserung der Elektroenergiequalität am Anschlußpunkt von Drehstrom-Lichtbogenöfen auf der Basis geregelter Stabilisatoren

S. Frotzscher, Coswig

Formelzeichen und Indizes

Formelzeichen

$\underline{a}$	Dreiphasenoperator
a_2^{υ}	Gegenspannungsunsymmetriefaktor
B	Suszeptanz
cos φ	Verschiebungsfaktor
G	Konduktanz
I	Strom
R	Resistanz
S	Scheinleistung
S_k''	Kurzschlußleistung
U	Spannung
X	Reaktanz
Y	Admittanz
$\varkappa$	symmetrischer Kompensationsgrad

Indizes

b	Blind-
B	bezogen auf die Suszeptanz
G	bezogen auf die Konduktanz
n	Nenn-
N	Netz-
O	Ofenanlage-
S	Stabilisator-
w	Wirk-
zul	zulässig
1, 2, 3	Stranggröße
12, 23, 31	Leiter-Leiter-Größe
$\mu\nu$	allgemeine Leiter-Leiter-Größe
ϱ	allgemeine Stranggröße
—	komplexe Größe

1. Problemstellung

In jüngerer Zeit gewinnen die Fragen der Elektroenergiequalität und damit der Beherrschung von Qualitätsminderungen zunehmend an Relevanz. Einerseits mehren sich die Qualitätsminderungen verursachenden Abnehmer in Anzahl und Leistung, zum anderen sinkt durch das sich verringernde Energieniveau informationsverarbeitender Einrichtungen der Stör- und Beeinflussungspegel, und schließlich zwingen vor allem heute energie- und materialökonomische Gründe zur Verlustoptimierung und vollen Auslastung der Betriebsmittel und damit zur Einhaltung zulässiger Werte der Elektroenergiequalität [1].

Aus den genannten Gründen wurde Stromrichter-Anlagen in der Vergangenheit besonderes Augenmerk geschenkt ([2] [3] [4] [5] u. a.). Neben leistungselektronischen Stellgliedern verursachen aber vor allem auch Lichtbogenöfen bedeutende Minderungen der Elektroenergiequalität. Drehstrom-Lichtbogenöfen unterscheiden sich von Stromrichter-Anlagen insbesondere durch ihre

- außerordentlich dynamische Impedanz (Lastschwankungen im Bereich $0 \cdots 5 \cdots (12)$ Hz, Lastsprünge) und
- unsymmetrische Betriebsweise.

Die Beherrschung der von Lichtbogenöfen hervorgerufenen Qualitätsminderungen verlangt deshalb eine in vielen Zügen andere Betrachtungsweise als dies Stromrichter-Anlagen erfordern. Es genügt nicht — wie oftmals angenommen —, lediglich phasenseparat zu kompensieren.

Dipl.-Ing. *Stefan Frotzscher* ist Gruppenleiter Starkstrom im VEB Walzengießerei Coswig.

Der Verfasser dankt Herrn Doz. Dr. sc. techn. *G. Winkler*, Technische Universität Dresden, Sektion Elektrotechnik, für wertvolle Hinweise und die damit verbundene stete Förderung der Arbeit an dieser Thematik.

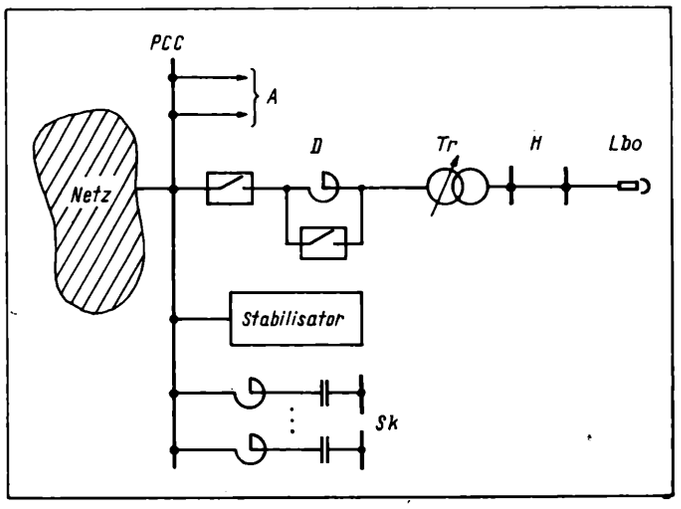


Bild 1. Anschlußstruktur eines Drehstrom-Lichtbogenofens
A parallele Abnehmer
D Drossel
Tr Ofentransformator
H Hochstromleitung
Lbo Lichtbogenofen
Sk statische Saugkreisanlage

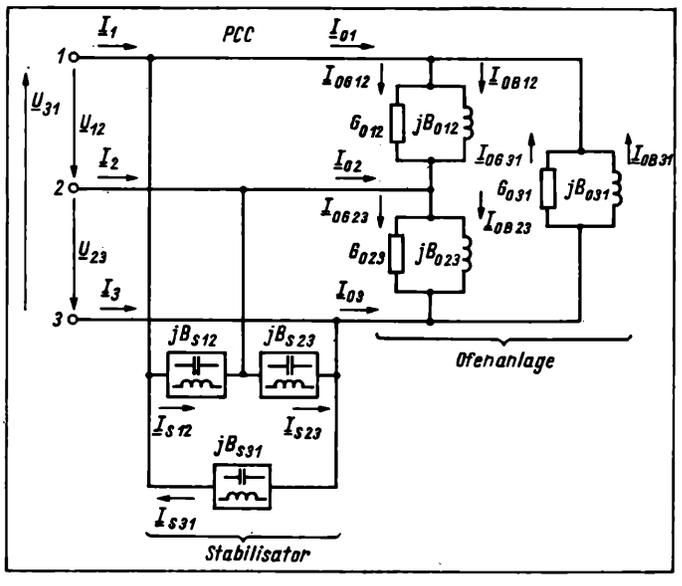


Bild 2. Ersatzschaltbild einer Drehstrom-Lichtbogenofen-Anlage mit Ofentransformator der Schaltgruppe D_- für netzfrequente Vorgänge

2. Ersatzschaltung der Drehstrom-Lichtbogenofen-Anlage

Bild 1 zeigt die typische Anschlußstruktur eines Lichtbogenofens. Das Netz speist eine gemeinsame Schiene, den PCC (point of common coupling). Über den Ofentransformator wird der Lichtbogenofen versorgt.

In der elektrischen Ersatzschaltung wird der Drehstrom-Lichtbogenofen durch 3 in Stern geschaltete ohmsch-induktive Impedanzen mit freiem Sternpunktpotential (Potential des festen Einsatzes bzw. des Bades) und gegenseitiger induktiver Kopplung dargestellt [6].

Die Reaktanz wird vorwiegend von der Geometrie der Hochstrombahn bestimmt und ist i. a. in den einzelnen Außenleitern ungleich. Durch Elektrodenregelung und mechanische Schwingungen der Stromseile sind die Reaktanzen in gewissen Grenzen zeitvariabel. In Reihe zur Hochstromleitung liegt in jedem Außenleiter ein Lichtbogen, der den Stromkreis über das Einsatzgut schließt. Die Lichtbögen gehen in die Ersatzschaltung als nichtlineare, rein ohmsche Widerstände ein [6] [7], die in ihrer Größe von zahlreichen Faktoren abhängen (Elektrodenregelung, Verhalten des Einsatzes, Fußpunktwanderungen usw.). Die Resistanzen des Ofens nehmen deshalb unsymmetrisch Werte von fast Null bei Kurzschluß bis Unendlich bei Lichtbogenabriß an und bestimmen wesentlich nachhaltiger als die Reaktanzen das dynamische Verhalten des Ofens.

Da die zulässigen Grenzwerte der Qualitätsmerkmale am PCC einzuhalten sind, muß in der Ersatzschaltung die gesamte Ofenanlage

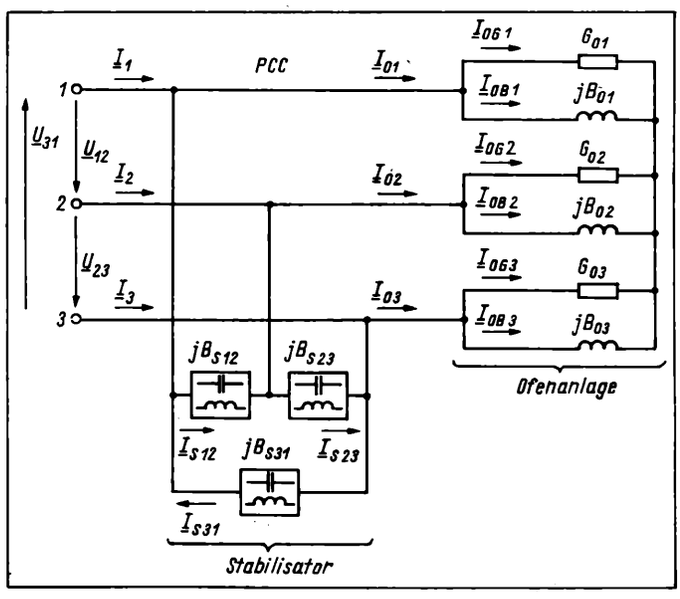


Bild 3. Ersatzschaltbild einer Drehstrom-Lichtbogenofen-Anlage mit Ofentransformator der Schaltgruppe $\underline{Y}$ für netzfrequente Vorgänge

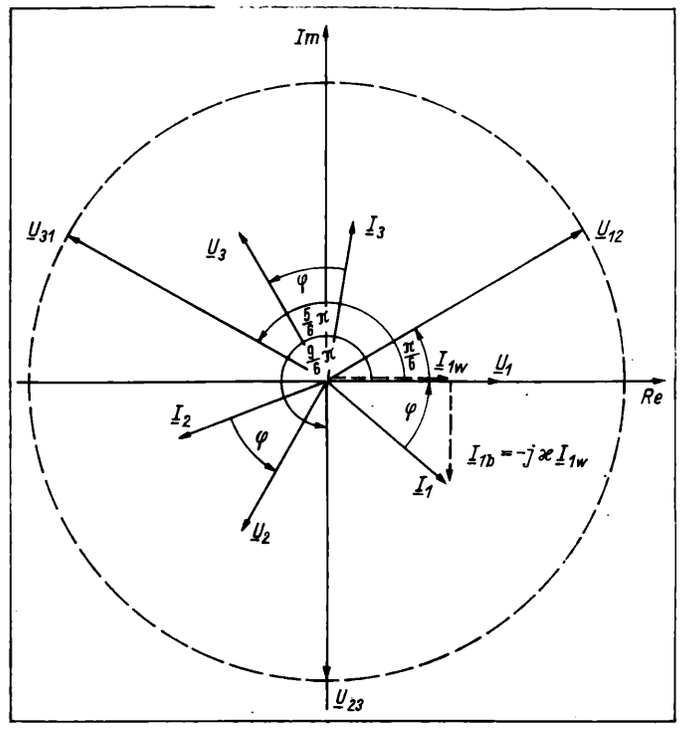


Bild 4. Lage der Zeigergrößen am PCC im Sollzustand
$\underline{U}_\varrho$ (ϱ = 1, 2, 3) fiktive Spannungen zum symmetrischen Sternpunkt

einschließlich Ofentransformators als Verbraucher angesehen werden. Je nach Schaltgruppe des Ofentransformators liegt somit ein Drehstrom-Verbraucher in Stern- oder Dreieckschaltung vor (Bild 2 und Bild 3).
Im weiteren wird sich zeigen, daß es günstiger ist, diesen Verbraucher entgegen seiner physikalischen Natur als Parallel-Admittanz aufzufassen.

3. Definition des Stabilisators

Aufgrund seiner unsymmetrisch schwankenden nichtlinearen Parameter bewirkt der Lichtbogenofen am PCC
- eine zeitvariable Spannungsunsymmetrie
- einen zeitvariablen Oberschwingungsgehalt in der Spannung
- eine zeitvariable Verschiebung zwischen Strom und Spannung und
- eine zeitvariable Spannungsamplitude.

Bei der Beherrschung dieser Qualitätsminderungen muß entsprechend den Bedingungen der Praxis (Ofenanlagen sind im Reproduktionsprozeß verankert, Außerbetriebnahme und Umrüstung nicht möglich) externen Mitteln gegenüber Veränderungen an der Verbraucheranlage der Vorzug gegeben werden. Ein solches Mittel kann ein zur Ofenanlage parallel betriebener Stabilisator sein (Bild 1). Aus wirtschaftlichen Gründen soll der Stabilisator ausschließlich aus Blindelementen bestehen. Diese werden zweckmäßigerweise als Suszeptanzen interpretiert (Bilder 2 und 3). Leistungselektronische Stellglieder besorgen die dynamische Anpassung des Stabilisators an die Ofenanlage.
Die Behandlung der „netzfrequenten" Qualitätsminderungen (Spannungsunsymmetrie, Verschiebung zwischen Strom und Spannung, Spannungsschwankung) kann getrennt werden von der der höherfrequenten Erscheinungen, da diese technisch separat mit statischen Saugkreisanlagen beherrschbar sind.
Der Stabilisator hat im 50-Hz-Bereich folgende Aufgaben:
- Symmetrierung der unsymmetrischen Wirkleistung
- Symmetrierung der unsymmetrischen Blindleistung
- Symmetrische Kompensation der symmetrierten Blindleistung.

Der Ermittlung der Sollwertsuszeptanzen des Stabilisators liegt folgende Überlegung zugrunde, wobei quasistationäres Verhalten vorausgesetzt wird:
Die Spannung am PCC ist nicht starr. Sie ist daher genau dann symmetrisch, wenn die Netzströme symmetrisch sind. Deren Symmetrie soll durch Einführung von Randbedingungen gewährleistet sein. Bei zweckmäßiger Wahl des Koordinatensystems (Bild 4) lassen sich die Randbedingungen der Netzströme auf einfache Art ableiten. Wenn der Proportionalitätsfaktor zwischen Blind- und Wirkstrom als Kompensationsgrad $\varkappa$ definiert wird, muß gelten:

$$\mathrm{Im}\{\underline{I}_1\} = -\varkappa\,\mathrm{Re}\{\underline{I}_1\} \tag{1}$$

$$\mathrm{Im}\{\underline{a}\,\underline{I}_2\} = -\varkappa\,\mathrm{Re}\{\underline{a}\,\underline{I}_2\} \tag{2}$$

$$\mathrm{Im}\{\underline{a}^2\,\underline{I}_3\} = -\varkappa\,\mathrm{Re}\{\underline{a}^2\,\underline{I}_3\} \tag{3}$$

Die verketteten Spannungen am PCC betragen dann:

$$\underline{U}_{12} = \frac{U}{2}(\sqrt{3} + \mathrm{j}) \tag{4}$$

$$\underline{U}_{23} = \frac{U}{2}(0 - \mathrm{j}\,2) \tag{5}$$

$$\underline{U}_{31} = \frac{U}{2}(-\sqrt{3} + \mathrm{j}). \tag{6}$$

Die Realisierung der Randbedingungen (1) bis (3) führt zur vollständigen Symmetrierung von Wirk- und Blindleistung sowie zur symmetrischen Kompensation der Blindleistung auf einen definierten — zur Wirkleistung proportionalen — Restbetrag.
Mit (1) bis (3) kann sich die Herleitung der Bestimmungsgleichungen der Stabilisatorsollwerte auf ein System symmetrischer Spannungen stützen.

4. Sollwertgleichungen für Ofenanlagen in Dreieckschaltung

Aus Bild 2 folgt für die Netzströme:

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_{0G12} + \underline{I}_{0B12} - \underline{I}_{0G31} - \underline{I}_{0B31} + \underline{I}_{S12} - \underline{I}_{S31} \tag{7}$$

$$\underline{I}_2 = \underline{I}_{0G23} + \underline{I}_{0B23} - \underline{I}_{0G12} - \underline{I}_{0B12} + \underline{I}_{S23} - \underline{I}_{S12} \tag{8}$$

$$\underline{I}_3 = \underline{I}_{0G31} + \underline{I}_{0B31} - \underline{I}_{0G23} - \underline{I}_{0B23} + \underline{I}_{S31} - \underline{I}_{S23} \tag{9}$$

Nach Substitution der Ströme mit den Spannungen und Admittanzen lauten die gedrehten Netzströme:

$$\underline{I}_1 = U(G_{012}\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}30^\circ} + B_{012}\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}120^\circ} - G_{031}\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}150^\circ} - B_{031}\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}240^\circ} + B_{S12}\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}120^\circ} - B_{S31}\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}240^\circ}) \tag{10}$$

$$\underline{a}\,\underline{I}_2 = U(G_{023}\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}30^\circ} + B_{023}\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}120^\circ} - G_{012}\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}150^\circ} - B_{012}\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}240^\circ} + B_{S23}\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}120^\circ} - B_{S12}\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}240^\circ}) \tag{11}$$

$$\underline{a}^2\,\underline{I}_3 = U(G_{031}\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}30^\circ} + B_{031}\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}120^\circ} - G_{023}\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}150^\circ} - B_{023}\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}240^\circ} + B_{S31}\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}120^\circ} - B_{S23}\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}240^\circ}). \tag{12}$$

Aus (10) bis (12) folgen unter Einbeziehung der Randbedingungen (1) bis (3) die Bestimmungsgleichungen der Stabilisatorsuszeptanzen:

$$B_{S12} = \frac{1}{\sqrt{3}}(G_{031} - G_{023}) - B_{012} - \frac{\varkappa}{3}(G_{012} + G_{023} + G_{031}) \tag{13}$$

$$B_{S23} = \frac{1}{\sqrt{3}}(G_{012} - G_{031}) - B_{023} - \frac{\varkappa}{3}(G_{012} + G_{023} + G_{031}) \tag{14}$$

$$B_{S31} = \frac{1}{\sqrt{3}}(G_{023} - G_{012}) - B_{031} - \frac{\varkappa}{3}(G_{012} + G_{023} + G_{031}). \tag{15}$$

Diese Gleichungen lassen sich folgendermaßen interpretieren:

Liegt eine symmetrische Wirklast vor, d.h. $G_{012} = G_{023} = G_{031}$, verschwindet jeweils der 1. Term. Dieser besorgt demnach die Symmetrierung unsymmetrischer Wirkleistungen. Der 2. Term ist verantwortlich für die vollständige Kompensation der unsymmetrischen Blindleistung. Mittels des 3. Termes erfolgt eine symmetrische Blindleistungskompensation entsprechend des gewählten Kompensationsgrades $\varkappa$. Bei $\varkappa = 0$ wird die Blindleistung zu Null, bei $\varkappa = -(R_N/X_N)$ der Längsspannungsfall über der Netzimpedanz. Die Werte $B_{0\mu\nu}$ sind stets negativ, da es sich bei Ofenanlagen um gemischt ohmsch-induktive Verbraucher handelt. Da die für $\varkappa$ sinnvollen Werte um Null liegen, ist der 3. Term bezüglich $B_{S\mu\nu}$ nicht von ausschlaggebender Bedeutung. Hingegen kann der 1. Term sowohl positive als auch negative Werte annehmen und so je nach Wirkleistungsunsymmetrie eine Vorzeichenumkehr des Stabilisatorsollwertes erwirken. Daraus leitet sich die Erkenntnis ab, daß zur Symmetrierung unsymmetrischer Wirkleistungen (Drehstrom-Lichtbogenöfen) nicht nur kapazitive, sondern auch induktive Stabilisatorblindleistung, d.h., ein indirektes Kompensationsverfahren nach [8], [9], [10] bzw. Hybridverfahren erforderlich ist. Mit einem direkten Kompensationsverfahren (z.B. geschaltete Saugkreise) läßt sich nur Blindleistung symmetrieren.

5. Sollwertgleichungen für Ofenanlagen in Sternschaltung

Aus Bild 3 folgt für die Netzströme:

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_{01} + \underline{I}_{S12} - \underline{I}_{S31} \tag{16}$$

$$\underline{I}_2 = \underline{I}_{02} + \underline{I}_{S23} - \underline{I}_{S12} \tag{17}$$

$$\underline{I}_3 = \underline{I}_{03} + \underline{I}_{S31} - \underline{I}_{S23}. \tag{18}$$

Nach Substitution der Ströme mit den Spannungen am PCC und den Admittanzen und Einführung der Randbedingungen (1) bis (3) können die Stabilisatorsollwerte explizit angegeben werden.

$$B_{S12} = F\left\{\frac{1}{\sqrt{3}}[G_3(G_1 - G_2)G + G_1(2B_2B_3 + B_3^2) - G_2(2B_1B_3 + B_3^2) + G_3(B_1^2 - B_2^2)] - [B_1B_2B + B_1(G_2^2 + G_2G_3) + B_2(G_1^2 + G_1G_3) - B_3G_1G_2] + K\right\} \tag{19}$$

$$B_{S23} = F\left\{\frac{1}{\sqrt{3}}[G_1(G_2 - G_3)G + G_1(B_2^2 - B_3^2) + G_2(2B_1B_3 + B_1^2) - G_3(2B_1B_2 + B_1^2)] - [B_2B_3B - B_1G_2G_3 + B_2(G_3^2 + G_1G_3) + B_3(G_2^2 + G_1G_2)] + K\right\} \tag{20}$$

$$B_{S31} = F\left\{\frac{1}{\sqrt{3}}[G_2(G_3 - G_1)G - G_1(2B_2B_3 + B_2^2) + G_2(B_3^2 - B_1^2) + G_3(2B_1B_2 + B_2^2)] - [B_1B_3B + B_1(G_3^2 + G_2G_3) - B_2G_1G_3 + B_3(G_1^2 + G_1G_2)] + K\right\} \tag{21}$$

Dabei sind

$$F = \sqrt{G^2 + B^2}^{-1}$$

$$K = -\frac{\varkappa}{3}[G(G_1G_2 + G_1G_3 + G_2G_3) + G_1(B_2^2 + B_2B_3 + B_3^2) + G_2(B_1^2 + B_1B_3 + B_3^2) + G_3(B_1^2 + B_1B_2 + B_2^2)]$$

$$G = G_1 + G_2 + G_3;\ B = B_1 + B_2 + B_3$$

$$G_\varrho = G_{0\varrho};\ B_\varrho = B_{0\varrho}$$

Zwischen den Gleichungen (13) bis (15) und (19) bis (21) besteht Äquivalenz entsprechend den Regeln der Dreieck-Stern-Umformung.

Beide Gleichungssysteme setzen die stete Kenntnis der aktuellen Verbraucheradmittanzen (Primärwicklungsadmittanzen des Ofentransformators) voraus. Diese entziehen sich jedoch meist der Messung, da die in der Praxis verwendeten Ofentransformatoren überwiegend innenverschaltet sind.

Im folgenden wird deshalb versucht, die Stabilisatorsollwerte aus verfügbaren externen Größen (Strangströme des Ofenzweiges, verkettete Spannungen am PCC) zu ermitteln.

6. Sollwertgleichungen auf der Basis verfügbarer Meßgrößen

Nach Bild 2 gilt das folgende Gleichungssystem:

$$\underline{I}_{012} = \underline{U}_{12}\,\underline{Y}_{012} \tag{22}$$

$$\underline{I}_{023} = \underline{U}_{23}\,\underline{Y}_{023} \tag{23}$$

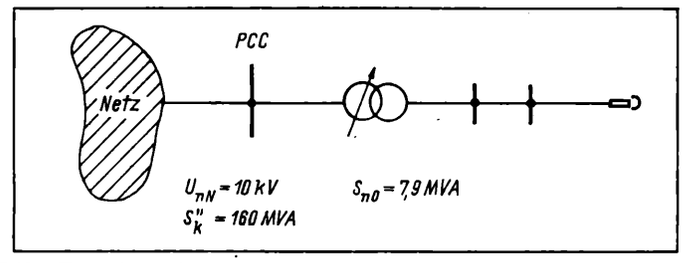


Bild 5. Konkrete Anschlußstruktur aus der elektrometallurgischen Praxis
Zustand 1: dreiphasiger Leerlauf
Zustand 2: Leiter *01* Leerlauf
Leiter *02* und *03* über metallischen Einsatz kurzgeschlossen

Tafel 1. Übersicht der Größen am PCC in Abhängigkeit der Stabilisationsart

Größen \ Stabilisationsart		ohne Stabilisation	Stabilisation mit genäherten Gleichungen		Stabilisation mit exakten Glgn.
			1. Sollwertrealisierung	2. Sollwertrealisierung	1. Sollwertrealisierung
	B_{S12}/mS	0,000	— 10,24	— 10,24	— 10,24
	B_{S23}/mS	0,000	73,71	77,33	77,53
	B_{S31}/mS	0,000	6,972	6,972	6,972
Größen ergeben sich nach Sollwertrealisierung	$\underline{U}_{12}$/V	9811/ 27,33°	9945/ 29,31°	9959/ 29,42°	9960/ 29,43°
	$\underline{U}_{23}$/V	9008/269,29°	9908/269,45°	9957/269,43°	9960/269,43°
	$\underline{U}_{31}$/V	9712/152,37°	9949/149,57°	9959/149,44°	9960/149,43°
	$\underline{I}_{01}$/A	0/ —	0/ —	0/ —	0/ —
	$\underline{I}_{02}$/A	725,8/189,95°	798,1/190,11°	802,1/190,09°	802,3/190,09°
	$\underline{I}_{03}$/A	725,8/ 9,95°	798,1/ 10,11°	802,1/ 10,09°	802,3/ 10,09°
	$a_s U$/%	5,254	0,2610	0,01376	0
	cos φ	0,1786	0,8624	0,9461	0,95

$$\underline{I}_{031} = \underline{U}_{31}\,\underline{Y}_{031} \tag{24}$$

$$\underline{I}_{012} = \underline{I}_{01} + \underline{I}_{031} \tag{25}$$

$$\underline{I}_{023} = \underline{I}_{02} + \underline{I}_{012} \tag{26}$$

Ferner gilt:

$$\underline{I}_{01} + \underline{I}_{02} + \underline{I}_{03} = 0 \tag{27}$$

Dabei sind:

$$\underline{I}_{0\mu\nu} = \underline{I}_{0G\mu\nu} + \underline{I}_{0B\mu\nu}\ ;\ \underline{Y}_{0\mu\nu} = G_{0\mu\nu} + \mathrm{j}B_{0\mu\nu}.$$

Bekannt sind die Größen $\underline{U}_{\mu\nu}$ (Spannungen am PCC) und $\underline{I}_{0\varrho}$ (Strangströme des Ofenzweiges), unbekannt die Größen $\underline{I}_{0\mu\nu}$ (Wicklungsströme der in Dreieck geschalteten Primärwicklung des Ofentransformators) und die gesuchten Verbraucheradmittanzen $\underline{Y}_{0\mu\nu}$. Das Gleichungssystem (22) bis (26) ist im mathematischen Sinne einfach unterbestimmt. Es gibt unendlich viele Tripel ($\underline{Y}_{012}$, $\underline{Y}_{023}$, $\underline{Y}_{031}$), die die bekannten externen Größen $\underline{U}_{\mu\nu}$, $\underline{I}_{0\varrho}$ realisieren. Entsprechend dem Grad der Unterbestimmtheit ist genau eine Größe wahlfrei. Zweckmäßigerweise wird gewählt:

- für die Berechnung von B_{S12} $\quad \underline{Y}_{012} = 0$
- für die Berechnung von B_{S23} $\quad \underline{Y}_{023} = 0$
- für die Berechnung von B_{S31} $\quad \underline{Y}_{031} = 0$

Die Verbraucheradmittanzen lauten dann:

- für die Berechnung von B_{S12}

$$\underline{Y}_{012} = 0;\quad \underline{Y}_{023} = \frac{\underline{I}_{02}}{\underline{U}_{23}};\quad \underline{Y}_{031} = \frac{-\underline{I}_{01}}{\underline{U}_{31}}$$

- für die Berechnung von B_{S23}

$$\underline{Y}_{012} = \frac{-\underline{I}_{02}}{\underline{U}_{12}};\quad \underline{Y}_{023} = 0;\quad \underline{Y}_{031} = \frac{\underline{I}_{03}}{\underline{U}_{31}}$$

- für die Berechnung von B_{S31}

$$\underline{Y}_{012} = \frac{\underline{I}_{01}}{\underline{U}_{12}};\quad \underline{Y}_{023} = \frac{-\underline{I}_{03}}{\underline{U}_{23}};\quad \underline{Y}_{031} = 0.$$

Nach Einsetzen der entsprechenden Konduktanzen in (13) bis (15) ergeben sich die Stabilisatorsollwerte — unabhängig von der Transformatorschaltgruppe — als Funktionen der verfügbaren Meßgrößen.

$$B_{S12} = \left(\frac{1}{\sqrt{3}} - \frac{\varkappa}{3}\right)\mathrm{Re}\left\{\frac{-\underline{I}_{01}}{\underline{U}_{31}}\right\} + \left(-\frac{1}{\sqrt{3}} - \frac{\varkappa}{3}\right)\mathrm{Re}\left\{\frac{\underline{I}_{02}}{\underline{U}_{23}}\right\} \tag{28}$$

$$B_{S23} = \left(\frac{1}{\sqrt{3}} - \frac{\varkappa}{3}\right)\mathrm{Re}\left\{\frac{-\underline{I}_{02}}{\underline{U}_{12}}\right\} + \left(-\frac{1}{\sqrt{3}} - \frac{\varkappa}{3}\right)\mathrm{Re}\left\{\frac{\underline{I}_{03}}{\underline{U}_{31}}\right\} \tag{29}$$

$$B_{S31} = \left(\frac{1}{\sqrt{3}} - \frac{\varkappa}{3}\right)\mathrm{Re}\left\{\frac{-\underline{I}_{03}}{\underline{U}_{23}}\right\} + \left(-\frac{1}{\sqrt{3}} - \frac{\varkappa}{3}\right)\mathrm{Re}\left\{\frac{\underline{I}_{01}}{\underline{U}_{12}}\right\}. \tag{30}$$

Es ist zu beachten, daß diese fiktiven Verbraucheradmittanzen spannungsabhängig sind [11]. Das Spannungssystem am PCC ändert sich jedoch bei Realisierung der berechneten Stabilisatorsollwerte. Damit sind die auf der Basis des Ist-Zustandes vor der Sollwertrealisierung berechneten Sollwerte nicht mehr ganz zutreffend. Anders ausgedrückt führen die Sollwertgleichungen (28) bis (30) zu einer gewissen Fehlkompensation.

An einem Beispiel der Praxis (Bild 5) kann allerdings gezeigt werden, daß nach einem erfolgten Lastsprung der Verbraucheranlage spätestens in der 2. Auswerteperiode eine ausreichend gute Stabilisatorwirkung erreicht wird.

Es wird angenommen, daß der Lichtbogenofen zu einer bestimmten Zeit vom Zustand *1* in den Zustand *2* übergeht. Diese Zustandsänderung ist durchaus typisch. Sie tritt bei jedem erneuten Anfahren des Ofens auf, sobald die 2. Elektrode zündet und stellt für den Stabilisator zweifellos eine sehr harte Bedingung dar.

Tafel 1 enthält die berechneten Stabilisatorsollwerte sowie die sich nach deren Realisierung ergebenden externen Größen und Qualitätsmerkmale am PCC. Ohne Stabilisation beträgt die Gegenspannungsunsymmetrie 5,3%, der Verschiebungsfaktor sinkt auf 0,18. Die exakten Sollwertgleichungen (13) bis (15) bzw. (19) bis (21) führen sofort mit der 1. Realisierung zu den gewünschten Qualitätsparametern. Die genäherten Gleichungen (28) bis (30) liefern nach der 1. Realisierung bereits eine zulässige Gegenspannungsunsymmetrie (für $U_{nN} > 1\,\mathrm{kV}$ gilt: $a^{U}_{2,\mathrm{zul}} = 0{,}5\,\%$ [12]) und eine bedeutende Verbesserung des Verschiebungsfaktors. Bereits die 2. Realisierung liefert ausreichende Ergebnisse.

7. Wahl des Kompensationsgrades

Für die Wahl des Kompensationsgrades $\varkappa$, der die zur Wirkleistung proportionale Restblindleistung bestimmt, gibt es unterschiedliche Kriterien.

1. Einhaltung eines definierten (tariflichen) Verschiebungsfaktors. Zwischen Kompensationsgrad und Verschiebungsfaktor besteht folgender Zusammenhang:

$$\varkappa = \begin{cases} + \sqrt{\dfrac{1}{\cos^2\varphi} - 1} & \text{Verschiebungsfaktor induktiv} \\ - \sqrt{\dfrac{1}{\cos^2\varphi} - 1} & \text{Verschiebungsfaktor kapazitiv} \end{cases} \tag{31}$$

2. Einhaltung der zulässigen Spannungsschwankung.
   Die Zulässigkeit von Spannungsschwankungen mit veränderlicher Amplitude wird anhand der mittleren Steigung der Flickerdosiskurve festgestellt [12], [13]. Angesichts des stochastischen Charakters der durch den Ofen generierten Spannungsschwankung und der integralen Definition der Flickerdosis ist der notwendige Kompensationsgrad nicht im voraus berechenbar. Die Blindleistungskompensation sollte sich deshalb zunächst an der tariflichen Größe Verschiebungsfaktor orientieren, wobei die Zulässigkeit dessen nachträglich durch Messung der Flickerdosis geprüft werden kann.

8. Zusammenfassung

Neben Stromrichter-Anlagen verursachen vor allem Drehstrom-Lichtbogenöfen entscheidende Elektroenergiequalitätsminderungen am jeweiligen Anschlußpunkt. Unterschiede im Verhalten dieser Abnehmer werden aufgezeigt.

Durch einen parallel zur Ofenanlage arbeitenden Stabilisator lassen sich qualitätsverbessernde Effekte erzielen. Der Stabilisator besteht aus Blindelementen. Leistungselektronische Stellglieder besorgen die dynamische Anpassung an die Ofenanlage.

Die Behandlung der netzfrequenten Qualitätsminderungen läßt sich von der der höherfrequenten Erscheinungen trennen. Der vorgestellte Algorithmus gestattet die Berechnung der Stabilisatorsollwerte auf der Basis verfügbarer Meßgrößen der Ofenanlage.

Entscheidungskriterium für das Maß der symmetrischen Kompensation sind der zulässige Blindleistungsbedarf und die zulässige Spannungsschwankung.

Es zeigt sich, daß zur Kompensation der von Lichtbogenöfen hervorgerufenen Elektroenergiequalitätsminderungen ein indirektes Kompensationsverfahren erforderlich ist.

Literatur

[1] Elektroenergiequalität. Interview der Redaktion mit dem Vorsitzenden des FUA 0.7 „Elektroenergiequalität" der KDT, Doz. Dr. sc. techn. *Gert Winkler*. Der Elektro-Praktiker, Berlin 35 (1981) 1, S. 4—6

[2] *Büchner, P.:* Stromrichter-Netzrückwirkungen und ihre Beherrschung. 1. Auflage. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1982

Störlichtbogenbedingtes Volumen – ein Beitrag zur Dimensionierung von metallgekapselten Schaltfeldern

St. Gerstenberger, KDT, Halle

Schaltanlagen aller Spannungsebenen werden in zunehmendem Maß aus fabrikfertigen, metallgekapselten Baueinheiten aufgebaut. Metallgekapselte Baueinheiten bieten einen hohen Berührungsschutz und Schutz vor Störlichtbogenauswirkungen. Die Tendenz der Entwicklung der Baueinheiten geht in Richtung kleinräumiger Bauweise.

Es erhebt sich die Frage, welche unteren Grenzen für eine kleinräumige Bauweise bestehen.

Eine Grenze ergibt sich aus dem spezifischen Raumbedarf von metallgekapselten Baueinheiten aus Sicht der Isolierung und der Abführung der Stromwärmeverluste. Hierzu wurden von *Böhme* [1] umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, in deren Ergebnis einer gekapselten Baueinheit ein strom- und spannungsbedingtes Mindestvolumen für den Normalbetrieb zugeordnet werden kann. Eine weitere Grenze ist sicherlich durch Montage- und Reparaturprozesse gegeben, die einen bestimmten Raum erfordern. Ein Störlichtbogen in metallgekapselten Baueinheiten ist auch beim derzeitigen Stand der Technik nicht ausschließbar. Die Störlichtbogendauer kann gegenwärtig mit vertretbarem technischen Aufwand auf etwa 100 bis 200 ms [2] begrenzt werden. Die thermische Beanspruchung kann eingeschränkt werden, die mechanische Beanspruchung durch die Druckentwicklung muß in dieser Zeit durch die Kapselung beherrscht werden oder durch geeignete Druckentlastungseinrichtungen begrenzt werden. Hier schließt sich die Frage an, ob ähnlich dem strom-, spannungsbedingten Mindestvolumen ein störlichtbogenbedingtes Mindestvolumen existiert. Dazu wurden Untersuchungen an Modellvolumen ohne und mit Entlastungsöffnungen (Bild 1) durchgeführt.

1. Berechnung der Druckentwicklung

Zur Beantwortung der Frage, ob sich zusätzliche Bedingungen durch einen Störlichtbogen ergeben, ist die Kenntnis der Druckentwicklung durch den Störlichtbogen notwendig. Ein zur Verfügung stehendes Programm [3] zur Berechnung der Druckentwicklung in SF_6-isolierten Schaltanlagen wurde entsprechend erweitert. Die Berechnungen folgender Varianten sind möglich:

— Druckentwicklung in einem abgeschlossenen Volumen ohne Entlastungsöffnungen

Dipl.-Ing. *Stephan Gerstenberger*, Energiekombinat Halle, war zur Zeit der Untersuchungen Forschungsstudent an der IH Zittau, Sektion Elektroenergieversorgung.

[3] 9. Wissenschaftliche Konferenz der Sektion Elektrotechnik der Technischen Universität Dresden 1981, Berichte B1-06, B1-07, B1-08

[4] 10. Wissenschaftliche Konferenz der Sektion Elektrotechnik der Technischen Universität Dresden 1984, Themenkomplex E4

[5] *Büchner, P.:* Zum Stand der Beherrschung von Stromrichter-Netzrückwirkungen. Elektrie, Berlin 37 (1983) 10, S. 535—537

[6] *Webs, A.; Kaufhold, W.; Kulicke, B.:* Rückwirkungen von Drehstrom-Lichtbogenöfen in elektrischen Versorgungsnetzen. Elektrizitätswirtschaft 71 (1972) 8, S. 222—228

[7] *Bretthauer, K.; Farschtschi, A.:* Ursachen der Netzrückwirkungen von Lichtbogenöfen. Elektrowärme international 4 (1980) B38, S. 186—189

[8] *Büchner, P.:* Kompensationseinrichtungen in Industrienetzen. Der Elektro-Praktiker, Berlin 35 (1981) 9, S. 315—317

[9] *Chit, A.; Horn, W.:* Neuzeitliche ruhende Blindleistungskompensation für Industrienetze. Technische Mitteilungen AEG-TELEFUNKEN 66 (1976) 7, S. 286—290

[10] *Frotzscher, S.:* Verfahren zur Minderung der Netzrückwirkungen von Drehstrom-Lichtbogenöfen. Der Elektro-Praktiker, Berlin 38 (1984) 2, S. 66—68

[11] *Bretthauer, Kh.; Farschtschi, A.; Wehrmann, E.-A.:* Bestimmung der Ersatzschaltbilddaten von Lichtbogenöfen über primäre Messungen am Ofentransformator — Teil I: Primäre Ersatzschaltbilder für belastete Transformatoren. etz Archiv 3 (1981) 12, S. 413—417

[12] Richtlinie Elektroenergiequalität. Institut für Energieversorgung Dresden, 1981

[13] *Baier, P.; Krüger, M.:* Gerät zur Bewertung von Auswirkungen transienter Spannungsänderungen. Der Elektro-Praktiker, Berlin 35 (1981) 12, S. 424—426

EA 5578

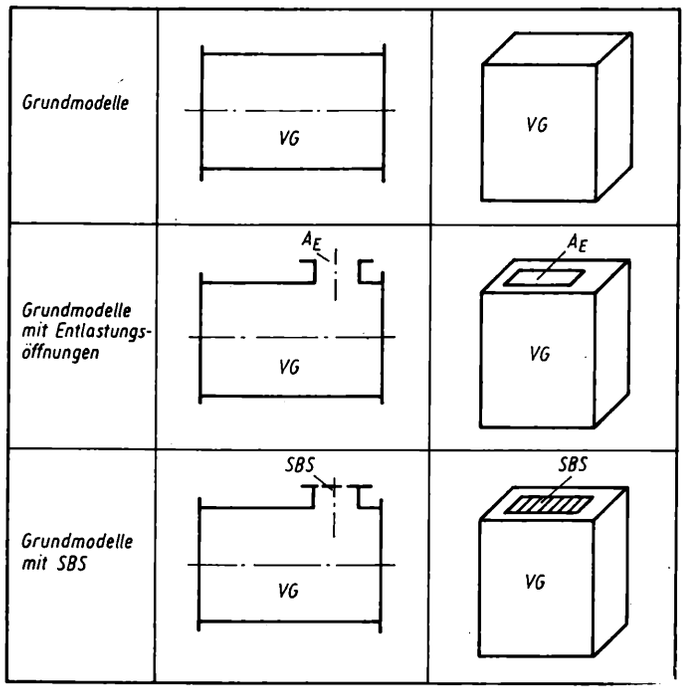


Bild 1. Grundmodelle für gekapselte Baueinheiten

— Druckentwicklung in einem Volumen mit offenen Entlastungsöffnungen
— Druckentwicklung in einem Volumen mit durch Membranen oder Klappen (Sollbruchstellen) verschlossenen Entlastungsöffnungen.

Die Berechnungen können für Luft und SF_6 als Isoliergas durchgeführt werden.

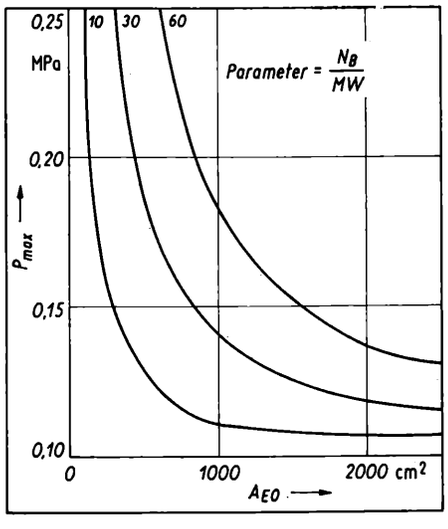


Bild 2. Maximaldruck in Abhängigkeit vom Querschnitt der Entlastungsfläche A_{EO} für Luft, Entlastungsfläche offen

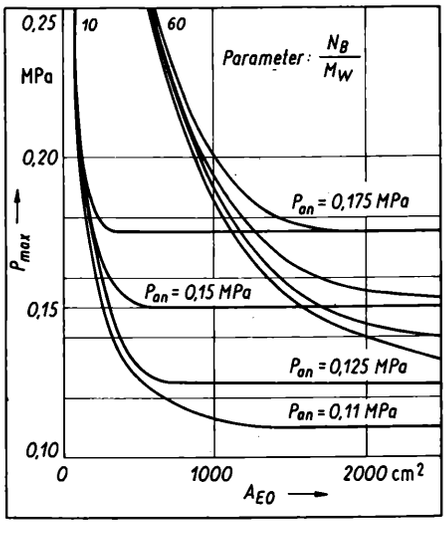


Bild 3. Maximaldruck in Abhängigkeit vom Querschnitt der Entlastungsfläche A_{EO} für Luft, Entlastungsöffnung durch Membran verschlossen

Bild 4. Maximaldruck in Abhängigkeit vom Volumen V_G bei Luft verschlossen Entlastungsfläche durch Klappe verschlossen

Die Berechnungen der angeführten Varianten erfolgten in einem Volumenbereich von 50 dm³ bis 2000 dm³ bei Lichtbogenleistungen bis 60 MW. Dabei wurde angenommen, daß 60% [3] der Lichtbogenenergie zur Druckentwicklung beitragen. Für abgeschlossene Volumen ohne Entlastungsöffnungen wurde mit einer Lichtbogendauer von 0,1 s gerechnet, für alle anderen Varianten wurden die Berechnungen bis 1 s durchgeführt.

2. Ergebnis der Druckberechnung

2.1. Charakterisierung des Druckverlaufes

2.1.1. Grundmodell — abgeschlossenes Volumen ohne Entlastungsöffnung

Die Druckentwicklung ist im Bereich von 0,1 s annähernd linear und kann näherungsweise wie folgt berechnet werden:

$$\Delta p = \frac{(\varkappa - 1)\, C\, N_B\, t_B}{V_G} \tag{1}$$

Δp Druckdifferenz
N_B Lichtbogenleistung
t_B Lichtbogendauer
C Anteil der Lichtbogenenergie zur Druckentwicklung
$\varkappa$ Adiabatenexponent des Gases
V_C Gasvolumen

2.1.2. Grundmodell mit offenen Entlastungsöffnungen

Das Druckmaximum ist im untersuchten Bereich (Lichtbogendauer 1 s, Volumen 50 dm³ bis 2000 dm³, Entlastungsquerschnitt (A_{EO}) 100 cm² bis 2500 cm²) nahezu unabhängig vom Volumen (Bild 2).

2.1.3. Grundmodell mit Sollbruchstelle (Membran)

Das Druckmaximum ist wie beim Volumen mit offenen Entlastungsöffnungen nahezu unabhängig vom Volumen. Im Bild 3 ist der Maximaldruck in Abhängigkeit von der Entlastungsfläche für verschiedene Ansprechdrücke dargestellt.

2.1.4. Grundmodell mit Sollbruchstelle (Klappe)

Beim Einsatz von Klappen ergibt sich eine Abhängigkeit des Druckmaximums vom Volumen, die ursächlich durch den Öffnungsvorgang dieser Klappen bestimmt wird. Der gesamte Entlastungsquerschnitt steht nicht sofort zur Verfügung wie bei offenen Entlastungsöffnungen und Membranen, d.h., es entsteht keine sofortige Druckentlastung nach dem Ansprechen der Klappe. Dieser Einfluß der Klappe nimmt mit steigendem Volumen wesentlich ab. Die Ursache dafür ist, daß mit steigendem Volumen die Differenz der Zeit zum Erreichen des Druckmaximums und der Öffnungszeit der Klappe größer wird. Im Bild 4 ist der Maximaldruck als Funktion des Volumens für einen Ansprechdruck der Klappe von 0,11 MPa dargestellt.

2.2. Darstellung des störlichtbogenbedingten Volumens

Die Kurvenverläufe der Bilder 2 bis 4 sind die Grundlage für die Darstellung der Abhängigkeit des Volumens von der Lichtbogenleistung. Es wird ein bestimmter zulässiger Druck (dieser entspricht dem Maximaldruck) festgelegt, den eine Kapselung beherrschen muß. Im Bild 5 sind die sich ergebenden Kurvenverläufe für $p_{zu} = p_{max} = 0{,}14$ MPa dargestellt.

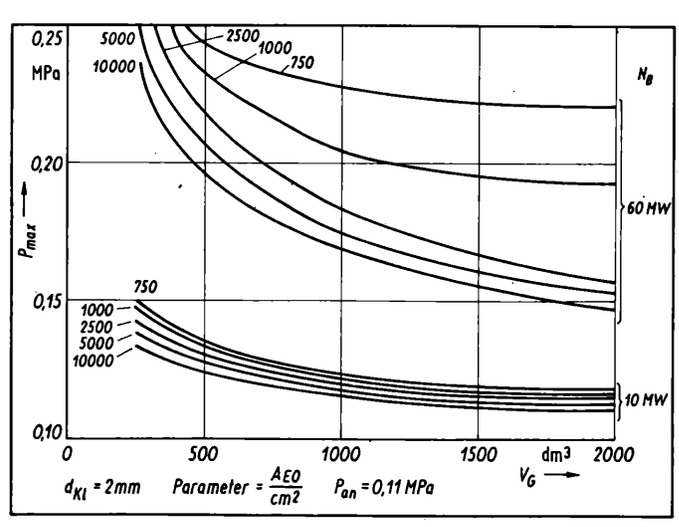


Bild 5

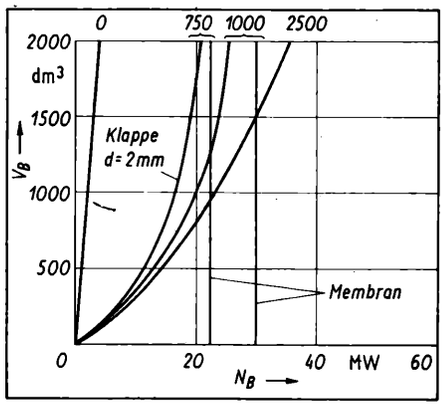


Bild 6

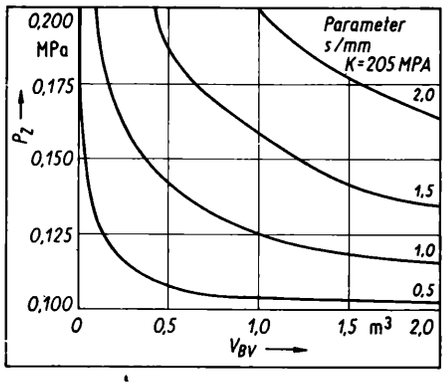


Bild 7

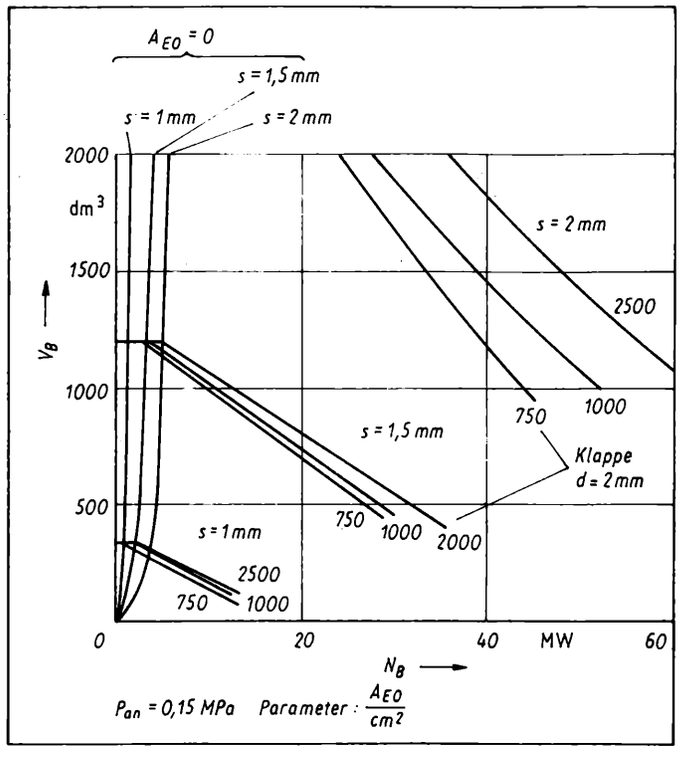


Bild 8

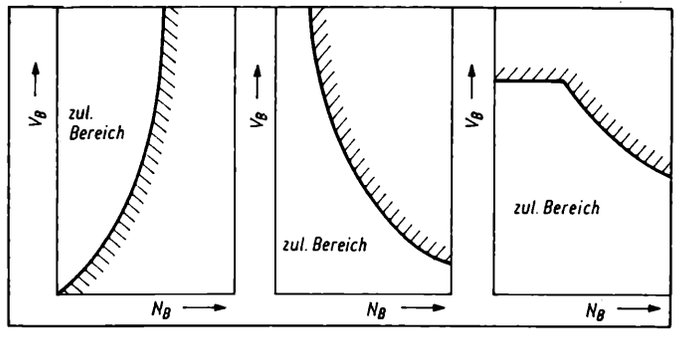


Bild 5. Störlichtbogenbedingtes Volumen in Abhängigkeit von der Lichtbogenleistung N_B (Parameter: Fläche der Entlastungsöffnung A_{E0}/cm²) für $p_{zulässig}$ = 0,14 MPa

Bild 6. Druckfestigkeit ($p_{zulässig}$) einer Kapselung in Abhängigkeit vom Volumen V_{BV} (Parameter: Wandstärke s/mm)

Bild 7. Störlichtbogenbedingtes Volumen V_B in Abhängigkeit von der Lichtbogenleistung N_B

Bild 8. Volumen ohne Entlastungsöffnungen (*a*), mit offenen Entlastungsöffnungen (*b*), mit Druckentlastungsmembranen bzw. -klappen (*c*)

Für abgeschlossene Volumina ohne Entlastungsöffnungen (Bild 5 $A_{E0} = 0$) ergibt sich eine lineare Abhängigkeit des Volumens von der Lichtbogenleistung, was aus Gleichung 1 resultiert. Das störlichtbogenbedingte Volumen kann für abgeschlossene Volumina aus

$$V_B = \frac{(\varkappa - 1)\, C\, N_B\, t_B}{p_{max}} \qquad (2)$$

bestimmt werden.

Für Volumina mit Druckentlastungsmembranen ergeben sich parallele Geraden. Das Volumen ist unabhängig von der Lichtbogenleistung. Die Lichtbogenleistung bestimmt in diesem Fall den notwendigen Entlastungsquerschnitt. Für Volumina mit Druckentlastungsklappen ergibt sich ein störlichtbogenbedingtes Volumen, das exponential mit der Lichtbogenleistung ansteigt.

2.3. Berücksichtigung der Druckfestigkeit der Kapselung

Die Druckfestigkeit einer Kapselung hängt außer vom Volumen von vielen konstruktiven und technologischen Details ab.

Im Bild 6 ist die Abhängigkeit des zulässigen Druckes p_z von dem Bauvolumen einer würfelförmigen Kapselung aus Stahlblech für verschiedene Wandstärken dargestellt. Bei dieser Betrachtung wurde nur die Festigkeit der Seitenwände berücksichtigt. Die Verbindungselemente der Seitenwände bzw. zusätzliche Versteifungen zur Erhöhung der Druckfestigkeit wurden zur Vereinfachung nicht berücksichtigt.

Wird die Abhängigkeit des zulässigen Druckes vom Volumen einbezogen, so ergeben sich zwei gegensätzliche Tendenzen (Bild 7). Für abgeschlossene Volumina ohne Entlastungsöffnungen ergeben sich ähnliche Kurvenverläufe wie im Bild 5, wobei der lineare Anstieg in einen exponentialen übergegangen ist. Grundsätzlich anders ist der Verlauf der Kurven bei Volumen mit Druckentlastungsklappen (auch bei offenen Entlastungsöffnungen und Druckentlastungsmembranen). Das störlichtbogenbedingte Volumen wird mit steigender Lichtbogenleistung geringer. Es besteht damit eine obere Grenze für das zulässige Volumen, wogegen beim abgeschlossenen Volumen ohne Entlastungsöffnungen eine untere Grenze für das zulässige Volumen besteht.

3. Zusammenfassung

Die Untersuchungen zeigen, daß ähnlich dem strom-, spannungsbedingten Mindestvolumen ein störlichtbogenbedingtes Volumen definiert werden kann, d.h. es existiert eine zusätzliche Bedingung für die Dimensionierung von metallgekapselten Baueinheiten.

Für Volumina ohne Entlastungsöffnungen besteht für das Volumen eine untere Grenze (Bild 8a).

Für Volumina mit offenen Entlastungsöffnungen (Bild 8b) und mit Druckentlastungsmembranen bzw. Druckentlastungsklappen (Bild 8c) besteht dagegen eine obere Grenze für das Volumen.

Aus diesen Erkenntnissen können gemeinsam mit dem strom-, spannungsbedingten Mindestvolumen Schlußfolgerungen für den Erstentwurf gekapselter Baueinheiten hinsichtlich der konstruktiven und volumenmäßigen Gestaltung gezogen werden.

Literatur

[1] *Böhme, H.*: Zur Gestaltung des energetischen Teils von Baueinheiten für Mittelspannungs-Schaltanlagen aus Sicht technischer Forschung. Dissertation B, TU Dresden 1976

[2] *Böhme, H.*: Stand der Forschung zur Entwicklung von Mittelspannungs-Schaltfeldern. ELEKTRIE, Berlin 28 (1974) 12, S. 635—640

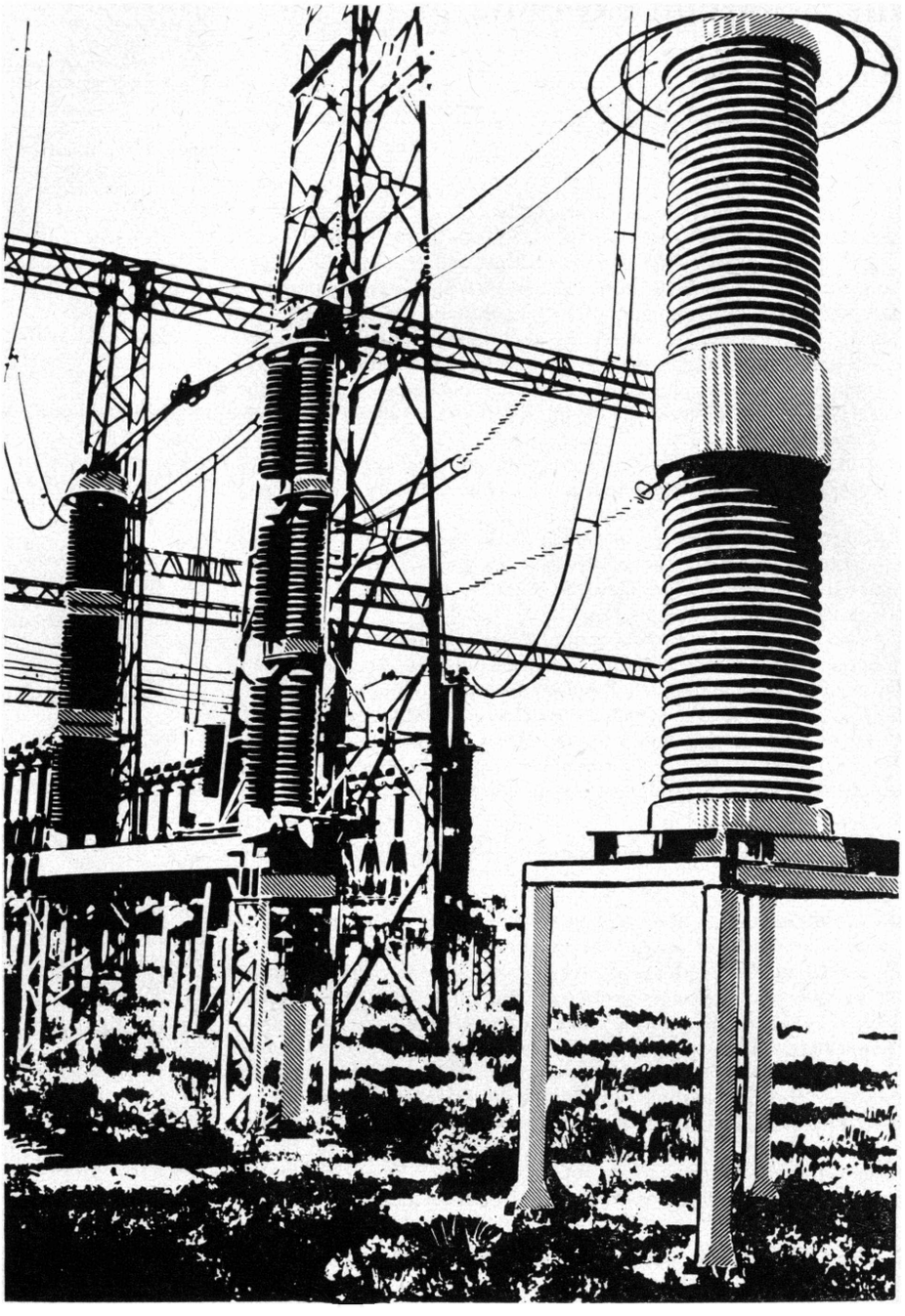
[3] *Oberthür, J.*: Beitrag zur Druckentlastung in SF_6-isolierten Anlagen bei Auftreten von inneren Störlichtbögen. Dissertation A, IH Zittau 1980

EA 5577

Electroimpex

Exportliste

- Komplette Elektroenergieobjekte
- Transformatoren
- Elektromotoren
- Nieder- und Hochspannungsapparaturen
- Kabel und Leitungen
- Elektroaggregate
- Isolatoren
- Elektroinstallations- und Elektroisolationsmaterialien
- Elektrohandwerkzeuge
- Elektromedizinische Apparate
- Beleuchtungskörper
- Röhren und Autolampen
- Quarzerzeugnisse
- Elektrische Haushaltsgeräte u.a.



„ELEKTROIMPEX"
SOFIA VR BULGARIEN
G. WASHINGTON STR. 17
Telephon: 86181
Telex: 22075, 22076

„ELEKTROIMPEX" — Hauptexporteur von Erzeugnissen der bulgarischen Elektroindustrie

„ELEKTROIMPEX" — Forschung, Projektierung, Lieferung, Montage, Chef-Montage, Inbetriebnahme und Service von kompletten Elektroenergie-objekten, technologischen Linien zur Fertigung von elektro-technischen Erzeugnissen

„ELEKTROIMPEX" — Know-how, technologische Hilfeleistung Beratungen, Einschulung von Spezialisten für Elektroenergie-Objekte und technologische Linien zur Fertigung von elektrotechnischen Erzeugnissen

Simulationsmöglichkeiten transienter Störspannungen im Nanosekundenbereich zur Sicherung der EMC

N. Thöry, KDT, Berlin

Mit zunehmendem Einsatz mikroelektronischer Bauelemente in allen Bereichen der Elektrotechnik — sowohl in der Informationselektronik als auch in der Energietechnik und Automatisierungstechnik — steigt auch die Empfindlichkeit der elektrotechnischen Anlagen gegen elektromagnetische Beeinflussung im allgemeinsten Sinne. Da weiterhin die Forderung nach immer kompakteren Anlagen und Ausrüstungen besteht, „rutschen" Energieversorgungsleitungen und Steuerleitungen immer enger zusammen, so daß die elektromagnetische Verträglichkeit (EMC) immer mehr zu einem Problem wird.

Um der oben genannten gesteigerten Empfindlichkeit mikroelektronischer Bauelemente Rechnung zu tragen, wird es erforderlich, auch transiente Störgrößen im Nanosekundenbereich zu berücksichtigen. Dabei gilt es auf der einen Seite, Zerstörungen von Bauelementen durch Überspannungen usw. zu verhindern und auf der anderen Seite eine ordnungsgemäße Funktion bis zu einer bestimmten Störgrenze zu gewährleisten.

Zu diesem Zweck ist es notwendig, elektrische Störgrößen (Spannungen und Ströme) zu simulieren. Da die Industrie auf diesem Sektor noch nicht allen speziellen Bedürfnissen Rechnung trägt, ist der EMC-Ingenieur oft gezwungen, derartige Simulationsmittel selbst zu entwickeln. In dem vorliegenden Beitrag sollen einige Aspekte der Realisierung von Generatoren für transiente Störspannungen exponentieller Form (Stoßgeneratoren) erörtert werden.

1. Grundprinzipien für Stoßspannungs- und Stoßstromgeneratoren

Die Wellenform eines Stoßgenerators ist in hohem Maße von seinem Innenwiderstand und von der Impedanz des Prüflings abhängig. Da die Impedanz des Prüflings während eines Test- oder Prüfvorgangs oft starken Schwankungen unterlegen ist (z. B. Durchschlag oder Ansprechen eines Begrenzerelementes), werden die Wellenformen für die Leerlaufspannung (Stoßspannungsgeneratoren) oder für den Kurzschlußstrom (Stoßstromgeneratoren) definiert. In [1] wird ein spezieller Hybridgenerator vorgestellt, der im Leerlauf eine Spannungsform von 1,2/50 µs und im Kurzschlußfall eine Stromform von 8/20 µs realisiert. Bild 1 zeigt die typischen Schaltbilder für Spannungs- und Stromgeneratoren auf der Basis der Kondensatorentladung zur Realisierung exponentieller Impulsformen [2].

2. Der Entladekreis für Stoßspannungsgeneratoren mit Impulsanstiegszeiten $\leqq$ 10 ns

2.1. Allgemeiner Aufbau

Für den Entladekreis derartiger Generatoren gilt im Prinzip das Schaltbild nach Bild 1a. Dabei muß beachtet werden, daß der Entladekreis besonders induktionsarm aufgebaut sein muß und die Schaltzeit des Schaltgliedes kleiner als die Impulsanstiegszeit sein muß. Der induktionsarme Aufbau wird durch Anwendung des koaxialen Prinzips oder die Benutzung großflächiger Verbindungsleiter (breite Cu-Bleche) erreicht. Weiterhin dürfen nur Bauelemente zum Einsatz kommen, die geringe parasitäre Induktivitäten haben.

2.2. Der Stoßkondensator

An den Stoßkondensator werden drei spezielle Forderungen gestellt:

— ausreichende Spannungsfestigkeit

Dr.-Ing. *Norbert Thöry* ist wissenschaftlich-technischer Mitarbeiter im Institut für Post- und Fernmeldewesen.

Bild 1. Prinzipschaltbild
a) eines Stoßspannungsgenerators
b) eines Stoßstromgenerators
U_L Ladespannungsquelle
R_L Ladewiderstand
C_S Stoßkondensator
R_e Entladewiderstand
R_I C_I Impulsformglied
S Schaltglied
R_S Serienwiderstand
L_S Serieninduktivität

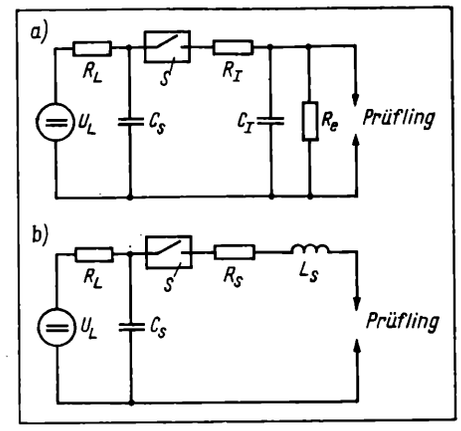


Bild 2. Möglichkeiten der Anschaltung eines Koaxialkabels als Stoßkapazität

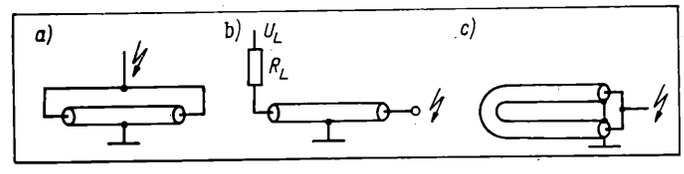
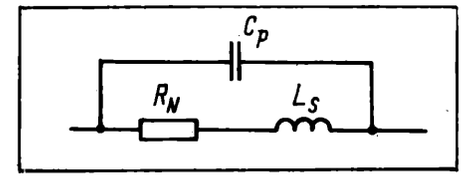


Bild 3. HF-Ersatzschaltbild eines ohmschen Widerstandes als konzentriertes Schaltelement
C_P Parallelwiderstand
L_S Serieninduktivität
R_N Nennwiderstand bei Gleichstrom



— ausreichende mechanische Stabilität bei Stoßentladungen
— geringe Induktivität.

Unter den herkömmlichen Kondensatorarten werden diese Anforderungen am besten von Keramikkondensatoren und von impulsfesten Metallpapierkondensatoren mit verlöteten Wickelrändern erfüllt. Besonders geeignet sind spezielle Vakuum- oder Druckgaskondensatoren mit koaxialem Aufbau, die aber schwer beschaffbar sind.

In der Tafel 1 sind verschiedene Kondensatortypen der DDR-Produktion und ihre wesentlichen technischen Daten zusammengestellt. Ebenfalls geeignet ist ein entsprechendes Koaxialkabel, welches, wie in Bild 2 dargestellt, nach verschiedenen Prinzipien angeschaltet werden kann.

2.3. Entladewiderstände

Bei den genannten Anstiegszeiten treten Spektralanteile bis 100 MHz auf, die zusammen mit den üblichen Spannungswerten (5 bis 20 kV) zu einigen Problemen bei der Auswahl der Entlade- und Spannungsteilerwiderstände führen.

Das Ersatzschaltbild nach Bild 3 zeigt die Einflüsse bei hohen Frequenzen. Die Kapazität des Widerstandes wirkt sich besonders bei hochohmigen Widerständen, wie z. B. bei der Baureihe 55, aus, die insbesondere in Hochspannungsteilern Anwendung finden.

Bei niederohmigen Entladewiderständen sind die Induktivität und die Spannungsfestigkeit die dominierenden Größen, so daß für die o. g. Bedingungen nur bifilar gewickelte Drahtwiderstände und ungewendelte bzw. grob gewendelte HF-Schichtwiderstände einsetzbar sind. Bifilare Drahtwiderstände müssen für die benötigte Spannungsfestigkeit im allgemeinen selbst gefertigt werden. Dabei ist zu beachten, daß beide Wicklungsenden gut gegeneinander isoliert sein müssen, aber wiederum der Abstand zwischen Hin- und Rückleiter so klein wie möglich bleibt, um die Restinduktivität zu minimieren.

Entsprechende HF-Schichtwiderstände werden von der Industrie angeboten. Mit einer geeigneten Reihen- oder Parallelschaltung kann man für die meisten Fälle die erforderlichen Werte realisieren.

Besonders geeignet sind die UHF-Widerstände der Baureihe 35, die bis zu 250 W Verlustleistung und 610 mm Baulänge gefertigt werden. Bedingt geeignet sind weiterhin Widerstände der Baureihen 17 und 23. Nachteilig wirkt sich bei Schichtwiderständen allgemein die inhomogene Widerstandsbelagverteilung über die Länge aus, was auch bei ausreichender Dimensionierung zu Spannungsüberschlägen auf dem Widerstandsbelag führen und den Widerstand zerstören kann.

Tafel 1. Kondensatoren für Impulsstromkreise im ns-Bereich[1])

Kondensatortyp/ Standard	Kapazitätsbereich pF	Spannungsbereich kV	Verlustfaktor tan δ (20 °C) oder Isolationswiderstand in MΩ	Grenzfrequenz (für φ — 70°)[2]) in MHz oder L in µH	Technologie/ Werkstoff	Bemerkungen
Keramische Hochspannungskondensatoren						
Tonnenkondensator						
Typ I	10 ··· 100	7 ··· 28	≦ 1—10^{-3} (1 MHz)	20	Keramik KER 310	Tonnenkondensatoren sind im Prinzip Plattenkondensatoren mit Keramikdielektrikum und haben daher eine geringe Induktivität
Typ II	500 ··· 2000	7 ··· 28	≦ 25—10^{-3} (800 Hz)		Keramik (E 5000)	
Keramische Leistungskondensatoren						
Rohrkondensatoren TGL 68-110	3 ··· 2000	2 ··· 6	keine Angabe	> 15 (je nach Ausführung)	Keramik (KER 221; KER 310; KER 320)	Keramikrohrkondensatoren haben metallisierte Innen- u. Außenflächen mit der Rohrwand als Dielektrikum
Topfkondensatoren TGL 68-111	25 ··· 2000	4 ··· 10	keine Angabe	> 15 (je nach Ausführung)	wie Rohrkondensatoren	ähnlich aufgebaut wie Rohrkondensatoren
Papierkondensatoren						
Impulskondensatoren ab 1 kV TGL 36670	100 ··· $8 \cdot 10^3$	1 ··· 800	Isolationswiderstand 1200 bzw. 6000 bei chlorierten Imprägniermitteln	$L \leqq 0{,}0035\ \lvert U_n \rvert$ für $U_n \geqq 100$ kV $L \leqq 0{,}006\ \lvert U_n \rvert$ für $U_n \leqq 100$ kV	Papier-Folie-Wickel-Öl oder Chlordiphenyl-imprägniert	Wickelkondensator mit imprägniertem Papierdielektrikum und flächig kontaktierten Wickelrändern
Glättungskondensatoren TGL 36669	100 ··· 10^3	1 ··· 800	keine Angabe		Papier-Folie-Wickel-Öl oder Chlordiphenyl-imprägniert	Induktivität sowie Impulsfestigkeit sind keine standardisierten Parameter (können aber mit dem Hersteller vereinbart werden)

[1]) Die angegebenen technischen Parameter sind zum Teil den entsprechenden Standards entnommen und zum Teil vom Verfasser gemessen worden.
[2]) Die gemessenen Daten sind nur als Richtwert zu betrachten, da nur eine sehr kleine Stückzahl der jeweiligen Typen gemessen werden konnte.

2.4. Schaltglieder

2.4.1. Möglichkeiten der Auslösung von Kondensatorentladungen im Nanosekundenbereich

An das Schaltglied nach Bild 1 oder Auslöseelement werden hohe Anforderungen gestellt, denn die Funktionsweise dieses Elementes bestimmt in hohem Maße die Impulsform und insbesondere die Anstiegsflanke. Neben ausreichender Spannungsfestigkeit und Stromtragfähigkeit spielt die Einschaltzeit, welche sich bekannterweise aus der Einschaltverzögerungszeit t_v und der Durchschaltzeit t_d zusammensetzt, eine wichtige Rolle. Während die Einschaltverzögerungszeit unkritisch ist, bestimmt die Durchschaltzeit die Impulsanstiegsflanke direkt. Das bedeutet, daß bei Impulsanstiegszeiten von 10 ns die Durchschaltzeit oder „Widerstandszusammenbruchszeit" des Schaltgliedes höchstens 5 bis 7 ns betragen darf. Für den hier erörterten Zweck sind spezielle Funkenstrecken und Wasserstoffthyratrons am besten geeignet.

2.4.2. Funkenstrecken

Bei den Funkenstrecken sind die triggerbaren Einrichtungen für den Aufbau von Impulsgeneratoren am interessantesten. Dabei wird, wenn der Aufwand gerechtfertigt ist, die Anwendung von Schutzgasmedien besonders günstig. Durch diese Schutzgase (z. B. SF_6 oder N_2) erreicht man hohe Schaltspannungen bei geringer Schlagweite und kurzer Durchschaltzeit sowie einen geringen Elektrodenverschleiß [3]. Für die Triggerung gibt es verschiedene Prinzipien, welche in den Bildern 4a bis 4d dargestellt sind. Die 4-Elektrodenanordnung in Bild 4c bietet gegenüber den 3-Elektrodenanordnungen (4a, 4b) den Vorteil der Potentialtrennung zwischen Triggerkreis und Generatorkreis. Eine für Impulsgeneratoren mit Anstiegszeiten im Nanosekundenbereich sehr gut geeignete Anordnung ist die in Bild 4d dargestellte schaltbare oder mechanisch getriggerte Funkenstrecke [4]. Mit dieser Anordnung sind bei vertretbarem Aufwand Schaltspannungen bis 100 kV und Durchschaltzeiten < 10 ns erreichbar. Durch die Verkürzung des Elektrodenabstandes mit hoher Geschwindigkeit während der gesamten Ionisierungs- und Entladungsaufbauphase sowie durch das Schutzgasmedium (vorwiegend N_2) werden sehr kurze Durchschaltzeiten erreicht [4].
Das Prellen der Elektroden wirkt sich hier auch nur gering aus, da die Durchschaltung bereits durch das Zünden des Lichtbogens erfolgt.

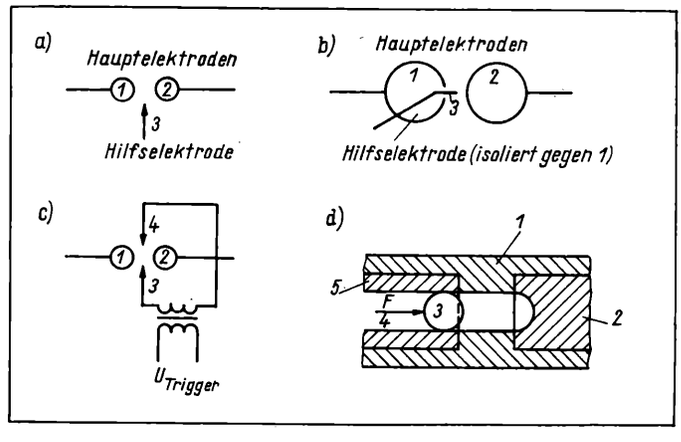


Bild 4. Triggerprinzipien bei Schaltfunkenstrecken
a/b Dreielektrodenanordnungen, *c* Vierelektrodenanordnung, *d* mechanische getriggerte Schaltfunkenstrecke, *1* Isolierkörper, *2* feststehende Elektrode, *3* bewegliche Elektrode, *4* mechanische Beschleunigungseinrichtung, *5* Elektrodenführung mit Gasdruckausgleich

2.4.3. Wasserstoffthyratrons

Das Wasserstoffthyratron ist eine Sonderform des aus der Leistungselektronik bekannten herkömmlichen Thyratrons, welches eigens für die Impulstechnik entwickelt wurde. Während für die meisten herkömmlichen Thyratrons die Durchschaltzeit (Entladungsaufbauzeit) von untergeordneter Bedeutung war, ist sie in der Impulstechnik ein entscheidender Parameter. Daher enthalten diese Thyratrons keine Edelgas-, sondern eine H_2-Füllung (in Spezialfällen auch D_2, Deutherium) und können Durchschaltzeiten zwischen 5 und 30 ns erreichen. International werden derzeit Typen bis zu 400 MW Impulsleistung bei Spitzenspannungen bis 220 kV und Spitzenimpulsströmen bis 20 kA gefertigt. Wasserstoffthyratrons sind indirekt geheizte Glühkatodenthyratrons mit elektrischer Verbindung zwischen Heizwendel und Kathode. Neben der Kathodenbeheizung enthalten diese Röhren noch eine Heizung für einen speziellen Wasserstoffgenerator, der den Wasserstoffdruck konstant hält. Diese Heizung ist bei den kleineren Typen intern mit der Kathodenheizung verbunden. Bei größeren Röhren wird dieser extra beheizt (zusätzlicher Heizstrom). Der Heizstrom für den Wasserstoffgenera-

Tafel 2. Wasserstoffthyratrons der Reihe TГИ

Typ	Anoden-spitzen-spannung $\hat{U}a$/kV	Anoden-spitzen-strom $\hat{I}a$/A	Anoden-dauer-strom Iav/A	Wieder-holfrequenz f/Hz	notwendige Steuerspan-nungssteilheit dU_G/dt V/µs	Steuer-spannung U_G/V	Steuer-impuls-breite t_G/µs	Heiz-spannung U_H/V	Heiz-strom I_H/A	Aufheiz-zeit t_H/min	Kühlung
ТГИ 1-3/1	1	6	3	5000	300	≧ 50	3,5 ··· 20	6,3	0,8 ··· 1,1	1,5	Luft/natürl. Konvektion
ТГИ 1-130/10	10	130	0,25	3000	500	≧ 170	2 ··· 8	6,3	5	5	Luft/natürl. Konvektion
ТГИ 1-325/16	16	325	0,2		300 ··· 600	≧ 100	2 ··· 2,5	6,3	7,7 ··· 9,4	10	Luft/natürl. Konvektion
ТГИ 1-400/16	16	400	0,5	500	300 ··· 600	≧ 200	3 ··· 4	6,3	10 ··· 12,2	11	
ТГИ 1-700/25	25	700	1	500	1500	> 700	3 ··· 6	6,3	17 ··· 23	7	
ТГИ 1-1000/25	25	1000	1	50000	1500 ··· 2500	> 500	3 ··· 7	6,3	20	5	Luft/Zwangs-konvektion
ТГИ 1-2000/35	35	2000	3	330		> 1000		6,3	55 + 1,5	6	Wasser
ТГИ.1-2500/35	35	2500	2,5	250		> 1000		6,3	55 + 1	12	Luft/natürl. Konvektion
ТГИ 1-2500/50	50	2500			– unbekannt –			6,3		– unbekannt –	

tor muß besonders bei den größeren Typen in den angegebenen Toleranzen konstant gehalten werden, da die Temperatur des Generators direkt den Wasserstoffdruck und damit die Anodenspannungsfestigkeit bestimmt. Weiterhin ist zu beachten, daß die geforderte Gitterspannungssteilheit unbedingt realisiert werden muß, da sonst, insbesondere bei der Arbeit im Grenzleistungsbereich, keine definierte Zündung des Thyratrons erfolgt. Die Anodenstromsteilheit geht zurück, und es kann zum Gitterrückschlag bis zur vollen Entladung über das Gitter kommen, der sowohl das Thyratron selbst als auch die Ansteuereinrichtung gefährdet.

In der Tafel 2 sind einige Typen sowjetischer Produktion aufgeführt, die auch in der DDR verfügbar sind. Wie Versuche ergaben, sind diese sowjetischen Thyratrons in bezug auf die Impulsstrombelastbarkeit und die Anodenstromsteilheit stark überlastbar. Wichtig ist, daß vor Ablauf der Aufheizzeit keine Belastung mit Anodenspannung erfolgen darf, da die Röhre sonst durch Spannungsdurchschlag zerstört werden kann. Während des Betriebes kann es ebenfalls zu kurzzeitigen (< 100 ns) Spannungsrückschlägen zur Steuerelektrode in Höhe von einem Drittel der Anodenspannung kommen. Die Ansteuerbauelemente müssen daher durch Spannungsbegrenzerbauelemente geschützt werden.

3. Transportabler Stoßspannungsgenerator für $\hat{U} = 15$ kV und 10/500 ns[1])

3.1. Allgemeines

Um die Störspannungsfestigkeit bestimmter nachrichtentechnischer Einrichtungen sowie das Ansprechverhalten einiger spannungsbegrenzender Bauelemente zu ermitteln, wurde der o.g. Generator mit einem Wasserstoffthyratron als Schaltglied entwickelt und aufgebaut. Dieser Generator ist vorwiegend für Einzelimpulsauslösung vorgesehen. Ein Repetierbetrieb ist mit einer Wiederholfrequenz von etwa 10 Hz ebenfalls möglich, wobei auf Grund des großen Innenwiderstandes der Ladequelle nur etwa 3 kV Amplitude erreicht werden.

3.2. Der Entladekreis

Der Entladekreis (Bild 5) besteht aus 12 parallelgeschalteten Tonnenkondensatoren *C 1* bis *C 12* (1 nF/21 kV), einem Wasserstoffthyratron ТГИ 2-400/16 sowie 4 parallelen Entladewiderständen der Baureihe 35.26121 (300 Ω, 10 W). Damit ergibt sich ein an die Zuleitung zum Prüfling angepaßter Abschlußwiderstand von 75 Ω. Der Widerstand *R 1* entkoppelt den Entladekreis von der Ladespannungsquelle. Die Kondensatoren und Widerstände des Entladekreises sind in 2 Ebenen koaxial um das Thyratron angeordnet. Dadurch wird eine Minimierung der Kreisinduktivität erreicht. Als elektrisches Verbindungsmaterial dienen Messingstäbe mit 4 mm ∅, welche eine ausreichende mechanische Stabilität und eine große Oberfläche für die HF-Stromleitung gewährleisten. Für die Massefläche wurde kupferkaschiertes Material verwendet. Der Abgriff der Ausgangsspannung erfolgte über jedem einzelnen Entladewiderstand. Diese Abgriffe wurden an der Ausgangsbuchse zusammengeführt.

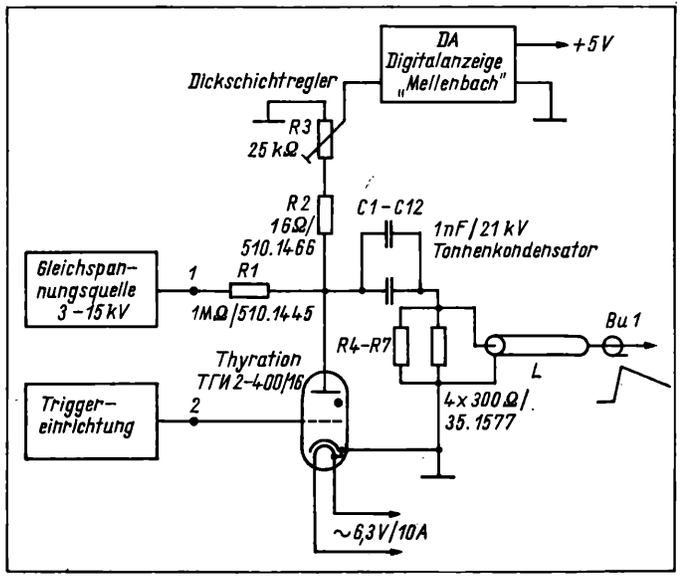
4. Weitere Schaltungsvorschläge für Impulsgeneratoren

4.1. Impulsgenerator mit explodierendem Draht

In Bild 6 ist eine Schaltung dargestellt [6], die es ermöglicht, einen Impuls mit kurzer Anstiegszeit und großem Energieinhalt zu erzeugen.

[1]) Dieses Gerät wurde auf der XXVI. ZMMM 1983 in Leipzig ausgestellt. Nähere Angaben sowie Nachnutzungsmöglichkeiten können beim Institut für Post- und Fernmeldewesen, Abt. NM, 1040 Berlin, Oranienburger Str. 70, erfragt werden.

Bild 5. Schaltbild des Entladekreises des Impulsspannungsgenerators 10/500 ns



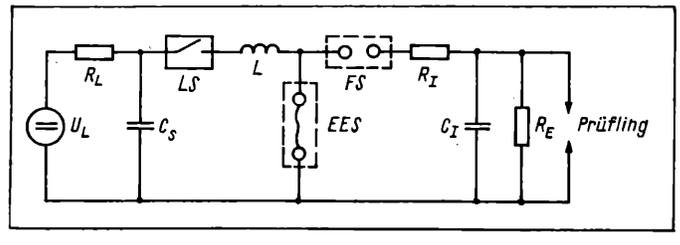
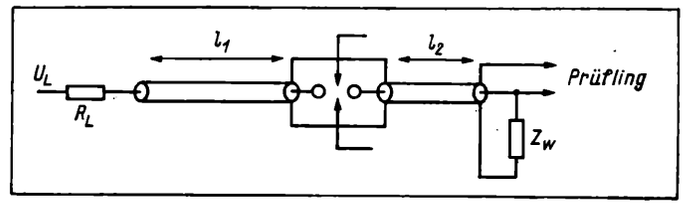


Bild 6. Prinzipschaltung eines Impulsspannungsgenerators mit explodierendem Draht als Schaltglied
(EEC-Electrically Exploding Conductor)

Bild 7. Impulsspannungsgenerator auf Basis eines Koaxialkabels



Die aufgeladene Stoßkapazität C_S wird durch Schließen des Leistungsschalters LS über die Stoßinduktivität L und den „explodierenden" Draht E.E.C. entladen.
Der Draht ist so bemessen, daß er im Strommaximum verdampft und die Länge keine Rückzündung zuläßt. Die in der Induktivität gespeicherte Energie verursacht einen unverzüglichen Spannungsanstieg nach Kreisunterbrechung, was zum Durchschlag der ungetriggerten Schutzgasfunkenstrecke FS führt.
Die Integrierglieder R_I und C_I erlauben eine Formung der Anstiegszeit nach vorgegebenen Werten. Der Stoßkreis (C_S, L) sowie der Abschlußwiderstand R_E sind so zu dimensionieren, daß ein einmaliges Ausschwingen mit der vorgegebenen Rückenhalbwertszeit erzielt wird.

4.2. Impulsgenerator mit Koaxialkabel

Für Generatoren mit sehr kurzen Impulsanstiegszeiten (< 5 ns) und geringer Impulsbreite (< 500 ns) werden oft Koaxialkabelstrukturen angewendet (Bild 7).
Durch diese Anordnung erreicht man extreme Induktionsarmut und dadurch die kurzen Anstiegszeiten. Die Kabellänge l_1 wirkt als Stoßkapazität und die Kabellänge l_2 als Impulsformglied und Zuleitung.
Der Abschluß der Kabellänge l_2 unmittelbar am Prüfling mit seinem Wellenwiderstand verhindert Reflexionen und damit undefinierte Schwingerscheinungen, solange der Prüfling hochohmig gegen Z_w ist.

Literatur

[1] *Wiesinger, J.:* Hybrid-Generator für die Isolationskoordination. etz 104 21, S.1102—1105
[2] *Baumann, M.:* Prüfgeneratoren zur Simulation von breitbandigen Störgrößen. Bull. ASE/UCS 75 (1984) 7, S.174—380
[3] *Mosch, W.;* u.a.: Einführung in die Hochspannungstechnik. Lehrbriefe für das Hochschulfernstudium. Berlin: VEB Verlag Technik 1975
[4] *Behnke, M.:* Eine Schaltfunkenstrecke für einen Nanosekunden-Hochspannungs-Impulsgenerator. Elektr. Inform.- und Energietechnik, Leipzig 6 (1976) S.236 bis 240
[5] *Mierdel, G.:* Elektrophysik. Berlin: VEB Verlag Technik 1970
[6] *Kotov, A.;* u.a.: Nanosecond Pulse Generators with inductiv storage First IEEE International Pulsed Power Conference. Lubbock, Texas 1976, S. IA 1—2 bis IA 1—11

EA 5569

Gesucht wird

iterativer Analogrechner MEDA 41 TC

Angebote an
Technische Universität Dresden
Sektion Elektrotechnik — BA

Mommsenstraße 13
Dresden
8027

Haben Sie Interesse, eine Tätigkeit in unserem Verlag aufzunehmen ?
Wir bieten einem

Diplomingenieur der Elektrotechnik

möglichst mit Berufserfahrung auf dem Gebiet der Starkstromtechnik, eine vielseitige, interessante Arbeitsmöglichkeit als Redakteur in der Redaktion unserer Fachzeitschrift ELEKTRIE.

Wenn Sie diese Aufgabe reizt, wenden Sie sich bitte direkt an den

VEB Verlag Technik
Oranienburger Straße 13/14
Berlin
1020

Abteilung Elektrotechnik
Tel. 2870330
2870345

Das Impulsübertragungsverhalten von Dreiwicklungstransformatoren

Chr. Richter, KDT, Dresden

Zur Isolationskoordination und Störungsaufklärung in elektrischen Energieanlagen ist oft die Kenntnis des Übertragungsverhaltens von Transformatoren bei äußeren und inneren Überspannungsbeanspruchungen von Nutzen. Ein Verfahren, das die Berechnung von über Zweiwicklungstransformatoren übertragenen Impulsspannungen ermöglicht, ist in den Arbeiten [1] bis [4] beschrieben. Die Bestimmung übertragener Impulsspannungen an Dreiwicklungstransformatoren weist gegenüber der an Zweiwicklungstransformatoren bedingt durch die dritte Wicklung einige Besonderheiten auf, die eine Erweiterung der in den genannten Arbeiten beschriebenen Übertragungsmodelle erfordern. Untersuchungen zur Problematik wurden u.a. auch von *Dillard* und *Hileman* [5] [6] durchgeführt. Die getroffenen Aussagen befriedigen jedoch nicht. Das ist darauf zurückzuführen, daß die Impulsübertragung über Transformatoren wie die Übertragung quasistationärer Betriebsspannungen behandelt wird und die an den Transformator angeschlossenen und auf den Übertragungsvorgang einflußnehmenden elektrotechnischen Betriebsmittel unzureichend nachgebildet werden. Die Vielzahl der möglichen Varianten beim Dreiwicklungstransformator — ein-, zwei-, dreipoliger Impuls, die Behandlung der Sternpunkte, die Art der Belastung an den nicht impulsbetroffenen Klemmen des Transformators und die möglichen Schaltgruppen der Wicklungen — gestatten es im Rahmen dieser Ausführungen lediglich, den Lösungsweg aufzuzeigen. Dazu werden die verhaltensäquivalenten Ersatzschaltungen der üblichen Schaltungsvarianten des Dreiwicklungstransformators angegeben.

1. Grundlagen

Die über Transformatoren übertragenen Impulsspannungen bestehen aus zwei Grundkomponenten, der induktiv übertragenen Impulsspannung und der durch die kapazitive Kopplung zwischen den Wicklungen bedingten kapazitiv übertragenen Impulsspannung. Letztere ist nur am Transformator mit freien Klemmen von Interesse. Sie ist am Transformator in Netzschaltung zu vernachlässigen [1] [2]. Damit erfolgt die Beanspruchung der dem Transformator nachgeschalteten Betriebsmittel wesentlich nur durch induktiv übertragene Impulsspannungen. Das zur Bestimmung der induktiv übertragenen Impulsspannungen verwendete Modell des Transformators ist in den Arbeiten [1] bis [4] beschrieben. Es wird davon ausgegangen, daß jeder den Transformator beanspruchende Impuls über dessen Kerninduktivität einen Gegenimpuls hervorruft und dadurch den notwendigen Gleichgewichtszustand zwischen Eingangs- und Ausgangsseite des Transformators herstellt. Das Impulsgleichgewicht ist dabei unabhängig von einer ausgangsseitigen Belastung des Transformators. Der Spannungsimpuls über der Kerninduktivität entspricht beim Dreiphasentransformator bezogen auf die jeweils interessierende Ausgangswicklung der Gl. (1).

$$\left(\frac{\mathrm{d}\,p\,(t)}{\mathrm{d}\,t}\right)_n = k_{S(m-n)}\,\frac{u_0\,(t)}{\ddot{u}_{(m-n)}} \tag{1}$$

$u_0\,(t)$ Spannungs-Zeit-Funktion des Impulses am Transformator
$k_{S(m-n)}$ Impulskopplungsfaktor zwischen den Wicklungen
$\ddot{u}_{(m-n)}$ Windungsübersetzungsverhältnis zwischen den Wicklungen
Index m Index der Impuls-Eingangswicklung
Index n Index der Impuls-Ausgangswicklung.

Zur Ermittlung des Spannungsimpulses $\mathrm{d}p\,(t)/\mathrm{d}t$ über der Kerninduktivität wird der erregte Transformator zum Zeitpunkt des Maximums der magnetischen Induktion zugrunde gelegt. Als Impulskopplungsfaktor kann in diesem Fall

$$k_{S(m-n)} = 1 \tag{2}$$

[1]) Dr.-Ing. *Christian Richter* ist Gruppenleiter im VEB Kombinat Kraftwerksanlagenbau Radebeul.

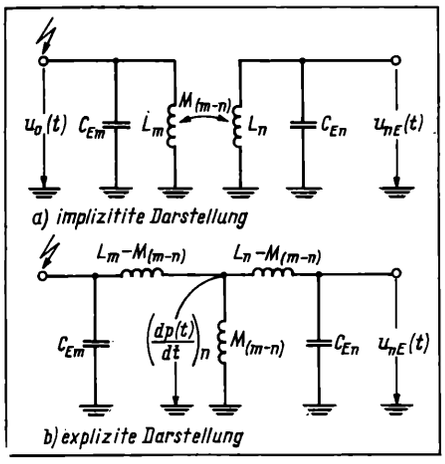
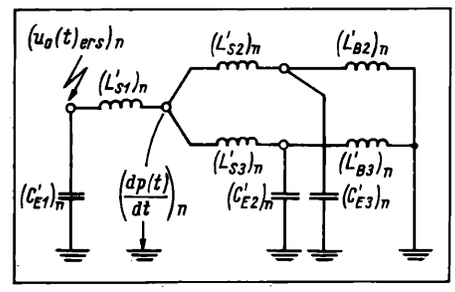


Bild 1. Ersatzschaltung zwischen der m-ten und der n-ten Wicklung eines Dreiwicklungstransformators mit den wirksamen Elementen

L_m; L_n	Selbstinduktivität der m-ten und n-ten Wicklung
C_{Em}; C_{En}	Wicklungs- und Erd-Kapazität der m-ten und n-ten Wicklung
$M_{(m-n)}$	Kerninduktivität zwischen der m-ten und n-ten Wicklung
$U_{nE}(t)$	übertragene Impulsspannung an der n-ten Wicklung

Bild 2. Ersatzschaltung eines Stranges des induktiv belasteten Dreiwicklungstransformators zur Berechnung des Ersatz-Impulses

$L_{s1} \cdots L_{s3}$	wirksame Induktivitäten der Wicklungen
$C_{E1} \cdots C_{E3}$	wirksame Wicklungs-Erd-Kapazitäten der Wicklungen
L_{B2}; L_{B3}	Belastungsinduktivitäten an den Ausgangswicklungen



$(u_s(t)_{ers.})_n$	Ersatzimpuls an der Impuls-Eingangswicklung bezogen auf die Spannungsebene der betrachteten Impuls-Ausgangswicklung
Bemerkung:	Index n kennzeichnet die Wicklung, auf deren Spannungsebene die Parameter bezogen sind.

angenommen werden. Die induktiv übertragene Impulsspannung besitzt hier ihr quantitatives Maximum und tritt weitgehend einfrequent in Erscheinung. Eine Änderung der magnetischen Induktion im Kern des Transformators erfolgt gegenüber der zum Zeitpunkt des Eintritts der Beanspruchung vorliegenden durch einen Impuls mit endlicher Rückenzeit nicht. Das gestattet die Vernachlässigung der Kerninduktivität. An deren Stelle wirkt in der Ersatzschaltung des Transformators der Gegenimpuls (Bild 1).

2. Die verhaltensäquivalente Ersatzschaltung des Transformators

Eine Nachbildung des Transformators zur Bestimmung des Vorganges der Impulsübertragung erhält man auf der Grundlage der Ersatzschaltung nach Bild 1 b dann, wenn man an die impulsbeanspruchte Eingangsklemme einen Ersatzimpuls anlegt, der die Einhaltung der Bedingung nach Gl. (1) gewährleistet. Dazu werden alle Elemente der Ersatzschaltung des Transformators mit ggf. vorhandenen Belastungsimpedanzen an den nicht impulsbetroffenen Klemmen der Wicklungen auf die Spannungsebene der interessierenden Ausgangswicklung bezogen. Unter Berücksichtigung einer induktiven Belastung an den Ausgangswicklungen des Transformators erhält man damit die Ersatzschaltung nach Bild 2. Die Induktivitäten $L'_{S1} - L'_{S3}$ entsprechen den Wicklungs-Streuinduktivitäten. Man berechnet sie wie folgt [8]:

$$L'_{S(m-n)} = \frac{x_{\sigma(m-n)/\text{p.u.}} \, (U_n^2)_n}{2\pi f_n S_{n(m-n)}} \tag{3}$$

$L'_{S(m-n)}$	Verkettete Streuinduktivität zwischen der m-ten und n-ten Wicklung bezogen auf die interessierende Ausgangswicklung
$x_{\sigma(m-n)}$	bezogene Streureaktanz zwischen der m-ten und n-ten Wicklung
$S_{n(m-n)}$	Nennleistung zwischen der m-ten und n-ten Wicklung
$(U_n)_n$	Nennspannung der interessierenden Ausgangswicklung
f_n	Nennfrequenz (50 Hz)

Bild 3. Beispiel eines Dreiwicklungstransformators YNd5d5 in Netzschaltung

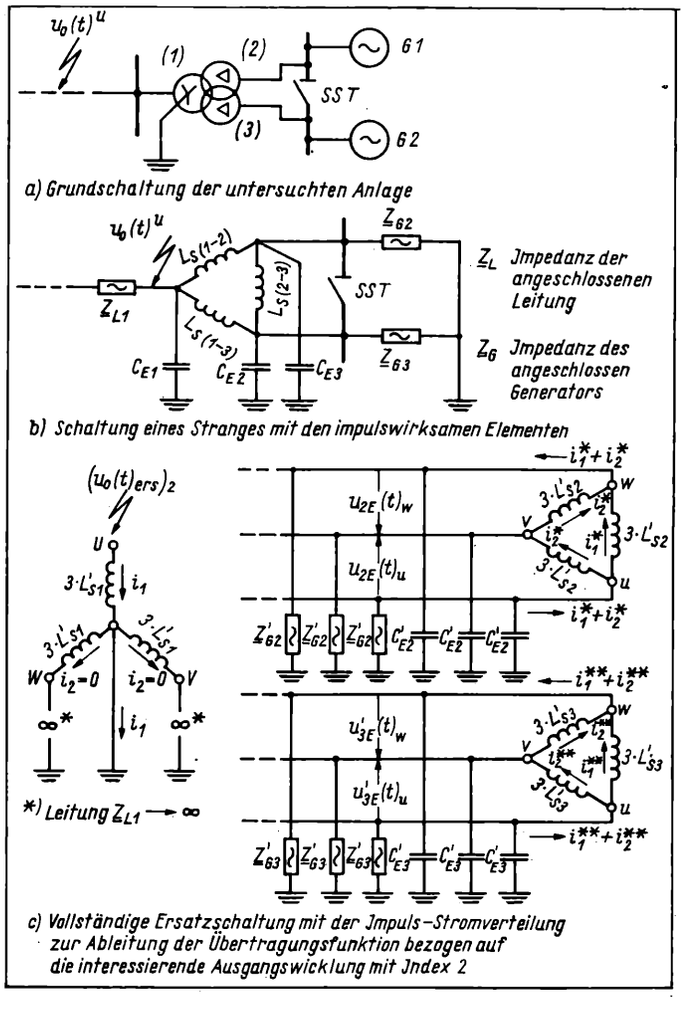
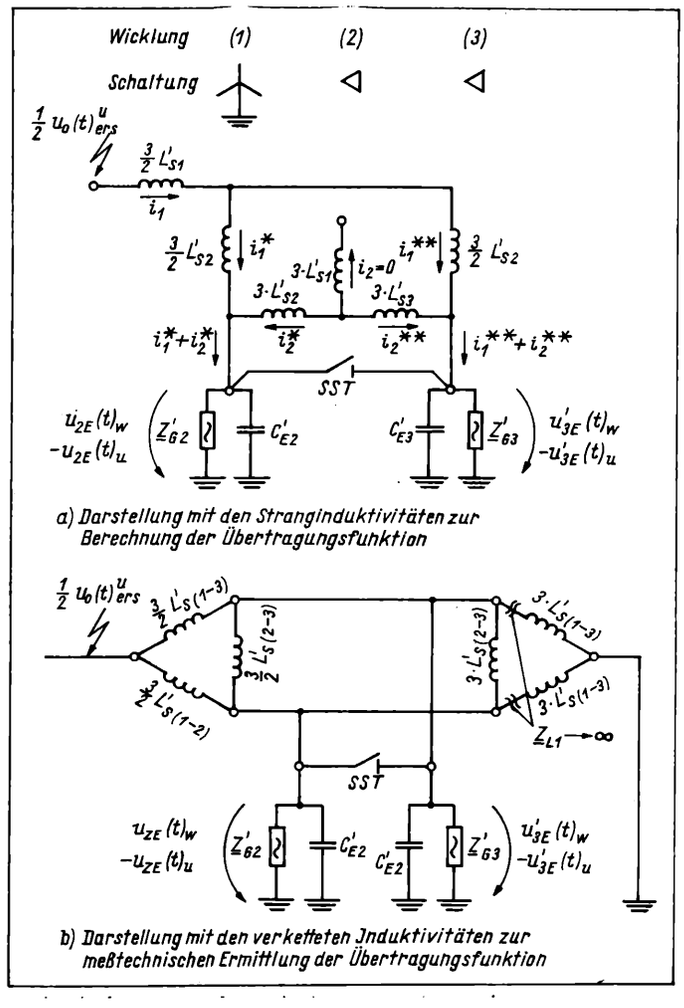


Bild 4. Verhaltensäquivalente Ersatzschaltung gemäß Bild 3 der untersuchten Anlage



Als bezogene Wicklungsstreuinduktivitäten erhält man dann

$$L'_{S1} = \frac{1}{2}\,(L'_{S(2-1)} + L'_{S(1-3)} - L'_{S(2-3)})$$

$$L'_{S2} = \frac{1}{2}\,(L'_{S(2-1)} + L'_{S(2-3)} - L'_{S(1-3)}) \tag{4}$$

$$L'_{S3} = \frac{1}{2}\,(L'_{S(1-3)} + L'_{S(2-3)} - L'_{S(2-1)})\,.$$

Eine der Wicklungsstreuinduktivitäten der Ausgangswicklungen kann negativ werden. Diese ist als formaler Rechenwert mit negativen Vorzeichen weiter zu behandeln [8].
Für den Ersatz-Impuls folgt nach Gl. (1) und Bild 2 bezogen auf die interessierende Ausgangswicklung

$$(u_0\,(t)_{\mathrm{ers.}})_n = k_{S(m-n)}\,\frac{u_0\,(t)}{\ddot{u}_{(m-n)}}$$

$$\times\left[(L'_{S1})_n\,\frac{((L'_{S2})_n + (L'_{B2})_n) + ((L'_{S3})_n + (L'_{B3})_n)}{((L'_{S2})_n + (L'_{B2})_n) + ((L'_{S3})_n + (L'_{B3})_n)} + 1\right]. \tag{5}$$

Im Fall $L_{B2} = L_{B3} \to \infty$ gilt

$$(u_0\,(t)_{\mathrm{ers.}})_n = k_{S(m-n)}\,\frac{u_0\,(t)}{\ddot{u}_{(m-n)}}\,. \tag{6}$$

Die Ermittlung des Ersatz-Impulses an der verhaltensäquivalenten Ersatzschaltung nach Bild 2 ist Voraussetzung zur Bestimmung übertragener Impulsspannungen. Es ist zu beachten, daß der nach Gl. (5) berechnete Ersatz-Impuls nur für die Bestimmung der übertragenen Impulsspannung in die Ausgangswicklung gilt, für die er ermittelt wurde.

3. Die Ersatzschaltungen des Dreiphasen-Dreiwicklungstransformators in Netzschaltung

Ein Impulsgleichgewicht nach Gl. (1) entsteht beim Dreiphasentransformator über der Kerninduktivität unter der Voraussetzung, daß

- der Sternpunkt der Eingangswicklung des Transformators geerdet ist oder
- bei freiem Sternpunkt der Eingangswicklung deren nicht impulsbetroffene Klemmen unmittelbar geerdet sind.

In davon abweichenden Fällen erfolgt die Impulsübertragung nicht auf der Grundlage des Gegenwirkungsprinzips [1]. Die induktiv übertragenen Impulsspannungen sind dann quantitativ unerheblich. Am Transformator im Netz ist damit die Bestimmung übertragener Impulsspannungen nur von Interesse, wenn der Sternpunkt der Impuls-Eingangswicklung unmittelbar geerdet oder mit einem Ableiter geschützt ist.
Ein Ansprechen des Ableiters ist bei Impulsbeanspruchungen des Transformators anzunehmen. Das Impulsübertragungsverhalten entspricht bei angesprochenem Ableiter am Sternpunkt der impulsbetroffenen Wicklung dem bei unmittelbar geerdetem Sternpunkt.

3.1. Ableitung der Ersatzschaltungen und Übertragungsfunktionen

Die Ableitung der verhaltensäquivalenten Ersatzschaltung zur Ermittlung übertragener Impulsspannungen des Transformators in Netzschaltung soll an einem Beispiel gezeigt werden. Dazu wird ein Transformator der Schaltgruppe YNd5d5 mit unmittelbar geerdetem Sternpunkt in Netzschaltung nach Bild 3a zugrunde gelegt. Er soll durch einen einpoligen Impuls auf die Klemme „U" der Y-Wicklung beansprucht werden. Die Dreieckwicklungen und die an sie angeschlossenen Generatoren sollen gleiche Parameter aufweisen ($L_{S2} = L_{S3}$, $L_{G2} = L_{G3}$). Für die Berechnung des Ersatz-Impulses sind folgende Schaltungsvarianten zu beachten:

a) Beide Generatoren angeschaltet; *SS*-Längstrennung geschlossen
b) beide Generatoren angeschaltet; *SS*-Längstrennung offen
c) beide Generatoren abgeschaltet; *SS*-Längstrennung geschlossen
d) beide Generatoren abgeschaltet; *SS*-Längstrennung offen
e) ein Generator abgeschaltet; *SS*-Längstrennung geschlossen
f) ein Generator abgeschaltet; *SS*-Längstrennung offen

Man erhält nach Gl. (5) bezogen auf die Impuls-Ausgangswicklung 2 (oder 3) als Ersatz-Impuls für die Varianten a und b

$$(u_0\,(t)_{\mathrm{ers.}})_2 = \frac{u_0\,(t)}{\ddot{u}_{(1-2)}}\,\frac{(L'_{S1})_2 + \frac{1}{2}\,((L'_{S2})_2 + (L'_{G2})_2)}{\frac{1}{2}\,((L'_{S2})_2 + (L'_{G2})_2)} \tag{7}$$

und für Varianten c und d

$$(u_0\,(t)_{\mathrm{ers.}})_2 = \frac{u_0\,(t)}{\ddot{u}_{(1-2)}}\,. \tag{8}$$

Ist ein Generator abgeschaltet, so folgt bei Variante e

$$(u_0\,(t)_{\mathrm{ers.}})_2 = \frac{u_0\,(t)}{\ddot{u}_{(1-2)}}\,\frac{(L'_{S1})_2 + \frac{1}{2}\,(L'_{S2})_2 + (L'_{G2})_2}{\frac{1}{2}\,((L'_{S2})_2 + (L'_{G2})_2)} \tag{9}$$

und für Variante f

$$(u_0\,(t)_{\mathrm{ers.}})_2 = \frac{u_0\,(t)}{\ddot{u}_{(1-2)}}\,\frac{(L'_{S1})_2 + (L'_{S2})_2 + (L'_{G2})_2}{(L'_{S2})_2 + (L'_{G2})_2}\,. \tag{10}$$

Es ist ersichtlich, daß der Scheitelwert des Ersatz-Impulses wesentlich von der Belastung an den Ausgangswicklungen und dem Schaltzustand abhängt. Dadurch gewinnt die Nachbildung der an den Transformator angeschlossenen Betriebsmittel oder Leitungen erhebliche Bedeutung [9]. Die Wicklungs-Erd-Kapazitäten der impulsbetroffenen Eingangswicklung C_{E1} können zur Vereinfachung vernachlässigt werden. Sie beeinflussen die Impulsübertragung nur unwesentlich. Zur Ableitung der Ersatzschaltung von Transformatoren mit in Dreieck geschalteten Wicklungen ergeben sich zu beachtende Transformationsbedingungen für die Wicklungsinduktivitäten $L'_{S1} - L'_{S3}$. Für sie ist stets der dreifache Wert anzunehmen, wenn die interessierende Impuls-Ausgangswicklung in Dreieck geschaltet ist. Ist dagegen die betrachtete Ausgangswicklung in Stern geschaltet, so ist stets der einfache Wert maßgebend, unabhängig, ob es sich um die Induktivitäten einer in Dreieck oder Stern geschalteten Wicklung handelt [5] [6]. Anhand einer „Hilfsstromverteilung" in der vollständigen Schaltung der untersuchten Anlage (s. Bild 3c), können nun die verhaltensäquivalente Ersatzschaltung und die Übertragungsfunktionen abgeleitet werden. Bei der Darstellung der dreipoligen Schaltung der untersuchten Anlage ist auf die richtige Lage der Wicklungsstränge im Transformator entsprechend dem Zeigerbild der Spannungen unter Berücksichtigung der Schaltgruppe zu achten. Stellt man die Maschen- und Knotenpunktgleichungen auf, so erhält man unter Verwendung der Laplace-Transformation im Bildbereich:

$$\mathfrak{L}\left\{u_0\,(t)^{U}_{\mathrm{ers.}}\right\}_2 = I_1\,3\,p\,(L'_{S1})_2 + I_1^*\,3\,p\,(L'_{S2})_2$$

$$+ 2\,(I_1^* + I_2^*)\,\frac{(\underline{Z}'_{G2})_2}{p\,(\underline{Z}'_{G2})_2\,(C'_{E2})_2 + 1} \tag{11}$$

$$\mathfrak{L}\left\{u_0\,(t)_{\mathrm{ers.}}\right\}_2 = I_1\,3\,p\,(L'_{S1})_2 + I_1^{**}\,3\,p\,(L'_{S3})_2$$

$$+ 2\,(I_1^{**} + I_2^{**})\,\frac{(\underline{Z}'_{G3})_2}{p\,(\underline{Z}'_{G3})_2\,(C'_{E3})_2 + 1} \tag{12}$$

$$0 = I_1^*\,3\,p\,(L'_{S2})_2 - I_1^{**}\,3\,p\,(L'_{S3})_2 - I_2^*\,6\,p\,(L'_{S2})_2$$

$$+ I_2^{**}\,6\,p\,(L'_{S3})_2 \tag{13}$$

$$I_1 = I_1^* + I_1^{**} \tag{14}$$

$$I_2^* + I_2^{**} \to 0 \quad (\text{für } \underline{Z}_{L1} \to \infty) \tag{15}$$

$$\alpha\,\{u_{2E}\,(t)_w\} = -\,\alpha\,\{u_{2E}\,(t)_u\} = (I_1^* + I_2^*)\,\frac{(\underline{Z}'_{G2})_2}{p\,(\underline{Z}'_{G2})_2\,(C'_{E2})_2 + 1} \tag{16}$$

$$\alpha\,\{u_{3E}\,(t)_w\} = -\,\alpha\,\{u_{3E}\,(t)_u\} = (I_1^* + I_2^{**})\,\frac{(\underline{Z}'_{G3})_2}{p\,(\underline{Z}'_{G3})_2\,(C'_{E3})_2 + 1}\,. \tag{17}$$

Mittels dieser Gleichungen kann erstens eine verhaltensäquivalente Ersatzschaltung (Bild 4a) und zweitens die Funktion der übertragenen Impulsspannungen an den interessierenden Klemmen der Ausgangswicklungen durch Lösung und Rücktransformation in den Originalbereich der Gln. (11) bis (17) bestimmt werden. Dazu ist es erforderlich, in der Ersatzschaltung die Impedanz angeschlossener Betriebsmittel zu konkretisieren. Hierzu wird auf den Aufsatz [9] verwiesen. Die verhaltensäquivalenten Ersatzschaltungen weiterer Schaltgruppen von Dreiwicklungstransformatoren sind im Bild 5 (a bis d) enthalten. Die Faktoren ϱ der impulswirksamen Elemente sind in Tafel 1 zusammengestellt. Die Erfassung des Dämpfungsverhaltens des Transformators beim Vorgang der Impulsübertragung und die Konkretisierung der impulswirksamen Elemente ist in den Arbeiten [1] bis [4] beschrieben.

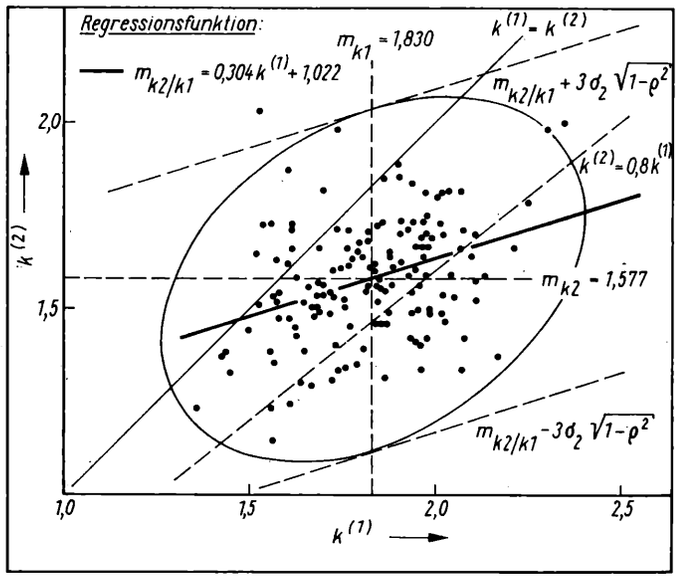


Bild 3. Korrelationsfeld der Überspannungsfaktoren der 1. und 2. Schwingungsscheitel (Leitungsende)

der fehlerfreien unbelasteten Freileitung ohne Restladung erfolgt über eine das speisende Netz modellierende Vorreaktanz. Zur Ermittlung der Verteilungen oben genannter Beanspruchungsgrößen wurde eine stochastische Simulation der Einschaltvorgänge mit Hilfe eines Großrechners durchgeführt. Als Zufallsgrößen wurden die Einschaltzeitpunkte der drei Leistungsschalterpole modelliert, wobei das stochastische Schaltermodell Schalterpolstreuzeiten $\Delta \leqq 10$ ms aufwies [4]. Insgesamt wurden 50 Einschaltungen simuliert. Aus den berechneten Vorläufen der Schaltspannungen wurden o.g. Beanspruchungsgrößen ermittelt. Die Stichprobe jeder Beanspruchungskenngröße umfaßte 150 Einzelbeobachtungen. Zur Berechnung der Schaltspannungsverläufe stand das Rechenprogrammsystem VOLNA-A des Sibirischen Forschungsinstitutes für Energetik zur Verfügung, das auf der Grundlage des Wanderwellenverfahrens für Dreileitersysteme eine wirklichkeitsnahe Modellierung wesentlicher Einflußgrößen gestattet [5] [6]. Dies betrifft insbesondere die Längsdämpfung durch die Frequenzgänge der Freileitungsparameter und die Querdämpfung durch die Koronaentladung.

4. Darstellung und Diskussion der Ergebnisse

Das Korrelationsfeld der Überspannungsfaktoren $k^{(1)}$ und $k^{(2)}$ des 1. und des 2. Schwingungsscheitels zeigt eine bestimmte Tendenz (Bild 3):
Im Mittel treten größere Werte von $k^{(1)}$ zusammen mit größeren Werten von $k^{(2)}$ auf. Die Hypothese, daß der Korrelationskoeffizient $\varrho = 0$ ist, wird abgelehnt. Die Hypothesen über Gleichheit der Mittelwerte und der Streuungen werden ebenfalls zurückgewiesen.
Die beiden Zufallsgrößen $k^{(1)}$ und $k^{(2)}$ bilden ein System von zwei Zufallsgrößen, dessen Randverteilungen durch Normalverteilungen approximiert werden.
Die Dichtefunktion des Systems ist durch die Dichte der zweidimensionalen Normalverteilung mit den Parametern m_1, m_2, σ_1, σ_2 und ϱ gegeben:

$$f(k^{(1)}; k^{(2)}) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-\varrho^2}} \times \exp\left\{\frac{-1}{2(1-\varrho^2)}\left[\frac{(k^{(1)}-m_1)^2}{\sigma_1^2} - 2\varrho\frac{(k^{(1)}-m_1)(k^{(2)}-m_2)}{\sigma_1\sigma_2} + \frac{(k^{(2)}-m_2)^2}{\sigma_2^2}\right]\right\}. \quad (6)$$

In Bild 3 ist eine Niveaulinie $f(k^{(1)}; k^{(2)}) = \text{const.}$, konkret die 3-$\sigma$-Ellipse, eingezeichnet. Sie umfaßt nahezu alle Punkte des Korrelationsfeldes.
Die Dichte des Systems der Zufallsgrößen $k^{(1)}$ und $\varkappa$ wird aus dem System der Zufallsgrößen $k^{(1)}$ und $k^{(2)}$ durch die Transformation

$$\varkappa = \frac{k^{(2)}}{k^{(1)}}$$

gewonnen:

$$\bar{f}(k^{(1)}; \varkappa) = |k^{(1)}|\, f(k^{(1)}; \varkappa k^{(1)}) = \frac{|k^{(1)}|}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-\varrho^2}} \times \exp\left\{\frac{-1}{2(1-\varrho^2)}\left[\frac{(k^{(1)}-m_1)^2}{\sigma_1^2} - 2\varrho\frac{(k^{(1)}-m_1)(\varkappa k^{(1)}-m_2)}{\sigma_1\sigma_2} + \frac{(\varkappa k^{(1)}-m_2)^2}{\sigma_2^2}\right]\right\}. \quad (7)$$

Eine Vorstellung über die Beschaffenheit dieser Dichtefunktion und über ihre Abweichung von der zweidimensionalen Normalverteilung vermitteln die Niveaulinien

$$\bar{f}(k^{(1)}; \varkappa) = 1.0;\ 0.1;\ 0.01,$$

die in das Korrelationsfeld der Zufallsgrößen $k^{(1)}$ und $\varkappa$ eingezeichnet worden sind (Bild 4, s. 2. US).
Die Randverteilung $f(k^{(1)})$ ergibt sich aus

$$f(k^{(1)}) = \int_{-\infty}^{\infty} \bar{f}(k^{(1)}; \varkappa)\, d\varkappa \quad (8)$$

und ist erwartungsgemäß eine Normalverteilung:

$$f(k^{(1)}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma_1}\exp\left\{-\frac{(k^{(1)}-m_1)^2}{2\sigma_1^2}\right\}. \quad (9)$$

Die Randverteilung $f(\varkappa)$ wird aus

$$f(\varkappa) = \int_{-\infty}^{\infty} \bar{f}(k^{(1)}; \varkappa)\, dk^{(1)} \quad \text{oder}$$

$$f(\varkappa) = -\int_{-\infty}^{0} k^{(1)} f(k^{(1)}; \varkappa k^{(1)})\, dk^{(1)} + \int_{0}^{\infty} k^{(1)} f(k^{(1)}; \varkappa k^{(1)})\, dk^{(1)} \quad (10)$$

gewonnen. Mit

$$\mu = \frac{1}{2(1-\varrho^2)}\left[\frac{\varkappa^2}{\sigma_2^2} - 2\varrho\frac{\varkappa}{\sigma_1\sigma_2} + \frac{1}{\sigma_2^2}\right], \quad (11)$$

$$\nu = \frac{1}{2(1-\varrho^2)}\left[-\frac{\varkappa m_2}{\sigma_2^2} - \frac{m_1}{\sigma_1^2} + \varrho\frac{m_2+\varkappa m_1}{\sigma_1\sigma_2}\right] \quad \text{und} \quad (12)$$

$$p = \frac{1}{2(1-\varrho^2)}\left[\frac{m_2^2}{\sigma_2^2} - 2\varrho\frac{m_1 m_2}{\sigma_1\sigma_2} + \frac{m_1^2}{\sigma_1^2}\right] \quad (13)$$

lassen sich die beiden Integrale der Gl. (10) in folgende Form überführen:

$$f(\varkappa) = \frac{e^{-p}}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-\varrho^2}}\left[\int_0^{\infty} k^{(1)} e^{-\mu k^{(1)2} - \nu k^{(1)}}\, dk^{(1)} + \int_0^{\infty} k^{(1)} e^{-\mu k^{(1)2} + \nu k^{(1)}}\, dk^{(1)}\right]. \quad (14)$$

Mit den in [7] angegebenen Lösungen für diese Integrale ergibt sich nach einigen Umformungen die Dichte $f(\varkappa)$ der Randverteilung zu:

$$f(\varkappa) = \frac{e^{-p}}{\mu\, 2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-\varrho^2}}\left[1 + \sqrt{\pi}\left(\frac{\nu}{\sqrt{\mu}}\right)\exp\left(\frac{\nu}{\sqrt{\mu}}\right)^2 \operatorname{erf}\left(\frac{\nu}{\sqrt{\mu}}\right)\right]. \quad (15)$$

Hier sei eingeblendet, daß sich für den Sonderfall

$$m_1 = m_2 = 0$$

aus vorstehenden Gleichungen die Cauchy-Verteilung

$$f(\varkappa) = \frac{\lambda}{\pi[(\varkappa-\delta)^2 + \lambda^2]} \quad (16)$$

mit den Parametern

$$\lambda = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}\sqrt{1-\varrho^2} \quad \text{und} \quad \delta = \varrho\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \text{ ergibt.}$$

Die Dichte $f(\varkappa)$ der Randverteilung gemäß Gl. (15) — ebenfalls in Bild 4a eingezeichnet — stellt die beste Approximation des Histogramms dar. Der ω^2-Anpassungstest zeigte, daß im vorliegenden Fall die Dichte nach Gl. (15) in guter Näherung durch die einfachere ln-Normalverteilung ersetzt werden kann.
Neben den beiden Randverteilungen ist die bedingte Verteilung $\bar{f}(\varkappa/k^{(1)})$ von Interesse. Aus

$$\bar{f}(\varkappa/k^{(1)}) = \frac{\bar{f}(k^{(1)}; \varkappa)}{f(k^{(1)})} \quad (17)$$

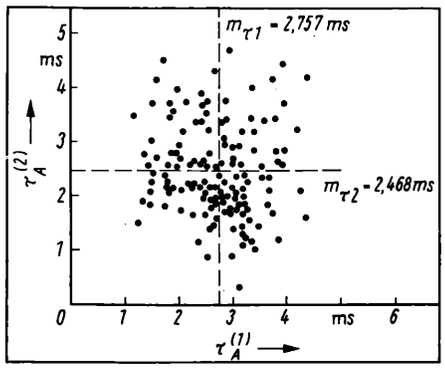


Bild 6. Korrelationsfeld der Anstiegszeiten der 1. und 2. Schwingungsscheitel (Leitungsende)

erhält man nach Einsetzen der Gln. (7) und (9) und einigen Umformungen eine Normalverteilung

$$\bar{f}(\varkappa/k^{(1)}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma_{\varkappa/k1}} \exp\left\{-\frac{(\varkappa - m_{\varkappa/k1})^2}{2\,\sigma^2_{\varkappa/k1}}\right\}, \tag{18}$$

deren Parameter

$$m_{\varkappa/k1} = \varrho\,\frac{\sigma_2}{\sigma_1} + \frac{1}{k^{(1)}}\left(m_2 - \varrho\, m_1 \frac{\sigma_2}{\sigma_1}\right) \tag{19}$$

und

$$\sigma_{\varkappa/k1} = \sigma_2 \sqrt{1-\varrho^2}\,\frac{1}{k^{(1)}} \tag{20}$$

von $k^{(1)}$ abhängen.

Der Verlauf der bedingten mathematischen Erwartung $m_{\varkappa/k1}$ und die beiden Kurven $m_{\varkappa/k1} \pm 3\sigma_{\varkappa/k1}$ wurden ebenfalls im Bild 4 (s. 2 US) eingezeichnet.

Der Verlauf der bedingten mathematischen Erwartung $m_{\varkappa/k1}$ wird durch die Regressionsanalyse bestätigt, denn an allen Punkten der Übertragung ergeben sich als Regressionsfunktionen mit der geringsten Reststreuung hyperbolische Abhängigkeiten. Im praktisch bedeutsamen Bereich von $k^{(1)}$ ergibt sich für den vorliegenden Fall folgendes (Bild 4, Leitungsende): Wenn der 1. Scheitel einen Überspannungsfaktor $k^{(1)} = 2.5$ aufweist, dann ist im Mittel die Höhe des 2. Scheitels durch $m_{\varkappa/2.5} = 0.72$ bestimmt, während der maximale Wert durch $m_{\varkappa/2.5} + 3\sigma_{\varkappa/2.5} = 0.9$ gegeben ist.

Die Korrelationsfelder der Überspannungsfaktoren und Anstiegszeiten des 1., des 2. und des größten Scheitels sind durch Bild 5 (s. 3. US) gegeben. In allen Fällen sind die Anstiege der Regressionsgeraden nur gering. Die Hypothese, daß der Korrelationskoeffizient $\varrho = 0$ ist, wird nicht zurückgewiesen.

Das Korrelationsfeld zwischen den Anstiegszeiten des 1. und des 2. Schwingungsscheitels zeigt Bild 6. Es läßt sich keine stochastische Tendenz feststellen: Die Hypothese, daß der Korrelationskoeffizient $\varrho = 0$ ist, wird nicht zurückgewiesen. Die Hypothese über Gleichheit der Streuungen wird abgelehnt. — Die empirischen Verteilungen der Anstiegszeiten lassen sich recht gut durch Normalverteilungen, in einigen Fällen besser durch Extremwertverteilungen approximieren.

Den gleichen Auswertungen wurden die Stichproben der Beanspruchungsgrößen am Leitungsanfang und in Leitungsmitte unterworfen; es ergaben sich keine qualitativ neuen Ergebnisse, so daß auf die umfassende Wiedergabe der entsprechenden Darstellungen verzichtet wird. Es werden lediglich die Korrelationsfelder der Überspannungsfaktoren $k^{(1)}$ und der bezogenen Überspannungsfaktoren $\varkappa$ des 2. Scheitels einschließlich der Niveauliniendarstellung der zugehörigen zweidimensionalen Dichten nach Gl. (7) für Leitungsmitte und -anfang wiedergegeben (Bilder 4b und 4c).

Der Vergleich der vorgestellten Ergebnisse für das Einschalten einer EHV-Übertragung zeigt einige signifikante Unterschiede zu den in [3] mitgeteilten Ergebnissen für das Wiedereinschalten einer UHV-Übertragung. Die Unterschiede zeigen sich nicht nur in den stochastischen Bindungen zwischen den Beanspruchungsgrößen sondern auch bezüglich der betrachteten Punkte der Übertragungen. Die Übertragungen weisen offensichtlich in Abhängigkeit von der Struktur, der Überspannungsschutzkonzeption und der betrachteten Schalthandlung individuelle Eigenschaften auf. Die Beanspruchung beim Einschalten der EHV-Übertragung ist durch frei ausschwingende Ausgleichsvorgänge gekennzeichnet, während beim Wiedereinschalten der UHV-Übertragung eine drastische Begrenzung der Beanspruchung durch eine wirksame Überspannungsschutzkonzeption (Querdrosseln und Ableiter) charakteristisch ist.

5. Zusammenfassung

1. Die für den Betrieb von EHV- und UHV-Systemen typischen durchschwingenden Verläufe der Schaltüberspannungen können detaillierter beschrieben werden, indem nicht nur der größte Schwingungsscheitel mit seiner Anstiegszeit, sondern auch der vorangegangene oder nachfolgende Scheitel der entgegengesetzten Polarität einschließlich der zugehörigen Anstiegszeiten benutzt werden. In diesem Zusammenhang wird vorgeschlagen, den Überspannungsfaktor des 2. Scheitels auf den des 1. Scheitels zu beziehen.
2. Zwischen den Überspannungsfaktoren des 1. und 2. Scheitels wurde für den Fall des Einschaltens einer langen leerlaufenden 380-kV-Übertragung eine stochastische Bindung festgestellt. Bezüglich des Zusammenhanges zwischen den Anstiegszeiten und den Überspannungsfaktoren des 1. und 2. Scheitels konnte keine stochastische Tendenz erkannt werden. Das Gleiche trifft für den Zusammenhang zwischen den Anstiegszeiten des 1. und des 2. Scheitels zu.
3. Der Vergleich der Ergebnisse für das Einschalten einer EHV-Übertragung zeigt einige signifikante Unterschiede zu den Ergebnissen für das Wiedereinschalten einer UHV-Übertragung. Diese Unterschiede sind durch die Struktur der Übertragung, die Überspannungsschutzkonzeption und die betrachtete Schalthandlung bedingt.
4. Mit Hilfe der vorgestellten Untersuchungsmethodik und — bezüglich Einschaltüberspannungen auf EHV-Übertragungen ohne Überspannungsbegrenzung — auf der Grundlage der vorgestellten Ergebnisse kann die Wahl der Parameter durchschwingender Prüfschaltspannungen unterstützt werden.

Literatur

[1] *Hoy, Chr.:* Transiente und stationäre Vorgänge auf Mehrleitersystemen mit frequenzabhängigen Parametern. Diss. B, TU Dresden 1980

[2] *Polovoj, I. F.; Chaliloy, F. Ch.:* Dlina fronta vnutrennich perenaprjaženij na linijach 500 kV. El. stancii (1970) 10, S. 58—62

[3] *Hoy, Chr.:* Die Beanspruchungsgrößen durchschwingender Einschaltüberspannungen auf UHV-Übertragungen. Teil 1: ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 7, S. 351 bis 353, Teil 2: ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 8, S. 417—421

[4] *Hoy, Chr.:* Statistische Untersuchungen zur überspannungssenkenden Wirkung von Einschaltwiderständen am Leistungsschalter beim Einschalten einer langen leerlaufenden 380-kV-Freileitung. ELEKTRIE, Berlin 31 (1977) 1, S. 19—23

[5] *Guseva, L. A.; Kovalev, B. I.:* Kompleks standartnych podprogramm dlja rasčetov élektromagnitnych perechodnych processov v élektričeskich stistemach na CVM BESM-4. Trudy SibNIIE (1975) 28, S. 73—85

[6] *Ščerbačev, O. V.* (Hrsg.): Primenenie cifrovych vyčislitel'nych mašin v élektroénergetike. Leningrad: Verlag, Energija 1980

[7] *Gradštejn, I. S.; Ryžik, I. M.:* Tablicy integralov, summ, rjadov i proizvedenij. Moskau: Verlag f. physik.-math. Lit., 1963

EA 5540

Wir empfehlen aus dem VEB Verlag Technik

Physikalische Modellierung elektromagnetischer Felder und Prozesse in elektrischen Maschinen

Von *A. V. Ivanov-Smolenskij*; *J. Meye*. Berlin: VEB Verlag Technik 1984. 1. Auflage. 128 Seiten, 64 Bilder, 11 Tafeln. Kunststoff 17,50 Mark. Bestell-Nr. 553211 5

Die physikalische Modellierung elektromagnetischer Erscheinungen in elektrischen Maschinen stellt ein Hilfsmittel dar, um aus Meßergebnissen an Modellen oder an Typenvertretern einer Baureihe auf die entsprechenden Vorgänge und Zusammenhänge in ähnlichen Anordnungen quantitativ zu schließen. Die vorliegende Monografie hat das Ziel, für diese Methodik die theoretischen Grundlagen zu bieten und ihre Anwendung am Beispiel zu demonstrieren. Die Bedeutung der Methodik liegt unter dem Aspekt der elektronischen Rechentechnik darin, daß Nichtlinearität, Anisotropie und Hystereseerscheinungen der Werkstoffe von vornherein Berücksichtigung finden und keine besonderen Anstrengungen zur Untersuchung dreidimensionaler Vorgänge erforderlich sind. Im 1. Abschnitt wird eine allgemeine Beschreibung des elektromagnetischen Feldes in rotierenden elektrischen Maschinen gegeben, die auf Vereinfachungen verzichtet, im 2. Abschnitt werden Aussagen zur Ähnlichkeitstheorie geboten, im 3. Abschnitt Fragen der Modellbildung und Anwendungsbeispiele erläutert.

Die vorgestellten Methoden sind auf andere elektromagnetische Geräte übertragbar.

Die Redaktion

Erdschlußschutz für Mittelspannungsnetze auf der Basis eines Vergleiches der Leitungsnulladmittanzen

J. Lorenz; A. Kordus; Poznan (VR Polen)

Die selektive Erdschlußerfassung der Netze mit Resonanz-Sternpunkterdung ist immer noch eines der Grundprobleme der MS-Verteilungsnetze. Die Anwendung einer kurzzeitigen Sternpunkterdung dieser Netze, die eine zusätzliche Wirkkomponente des Erdschlußstromes erzwingt, erlaubte das klassische Richtungskriterium weiterhin auszunutzen. Schon bei Strömen von 15 bis 20 A erkennen solche Schutzrelais einwandfrei alle widerstandslosen und eine hohe Anzahl von Widerstandserdschlüssen. Bei hochohmigen Erdschlüssen jedoch, die eine Senkung der Verlagerungsspannung unter 40 % der Leiter-Mittelpunkt-Spannung verursachen, arbeiten sie nicht mehr. Daher werden seit einigen Jahren neue Kriterien untersucht, die sich auf einer Analyse der Ausgleichsvorgänge bei Erdschlußeintritt oder des Oberschwingungsgehaltes der Leitungsnullströme stützen.

In diesem Beitrag wird ein Erdschlußschutz vorgestellt, der auf die Differenz zwischen den Leitungsnulladmittanzen vor und nach der Einschaltung der Automatik zur Erhöhung der Wirkkomponente anspricht. Ein solcher Schutz wurde im Institut für Elektroenergetik der Technischen Hochschule Poznan realisiert und im Labor sowie im Betrieb erprobt [1] bis [4].

1. Arbeitskriterium und Betriebsbedingungen

Das neue Kriterium beruht auf einem Vergleich der Nulladmittanzen, die in einer geerdeten Leitung vor und nach der Änderung der Sternpunktimpedanz gemessen werden (Y, Y').

Die polnischen Mittelspannungsnetze sind ausgesprochene Verteilungsnetze. Sie werden überwiegend einseitig gespeist, und Radialleitungen versorgen eine Reihe von Abgängen zu den Niederspannungstrafostationen auf 0,4 kV. In diesem Beitrag werden die Erdschlußvorgänge in Netzen mit Resonanz-Sternpunkterdung behandelt, die mit Schaltungen für eine Einspeisung eines zusätzlichen Reststromes von 20 A versehen sind. Auf die Analyse des genauen Schemas eines solchen Netzes mit Beachtung der Längsimpedanzen wird verzichtet, da diese weder qualitativ noch quantitativ den Vorgang wesentlich beeinflussen. Den dreipoligen Schaltplan eines so vereinfachten Netzes mit einpoligem Erdschluß zeigt Bild 1. Die gestörte Leitung $L1$ und eine ungestörte Leitung $L2$ werden getrennt angegeben. In Netzen mit mehr als zwei Leitungen werden alle ungestörten Leitungen, die im Moment des Erdschlusses in Betrieb sind, in $L2$ zusammengefaßt.

Die Nullimpedanz des Transformators sowie der Erdübergangswiderstand im Umspannwerk sind in diesem Schaltplan, wie auch alle Längsimpedanzen unbeachtet geblieben, da deren Werte einige zehnmal kleiner als die Erdschlußspulenimpedanz sind.

Der selektive Erdschlußschutz nutzt die Nullströme der einzelnen Leitungen in Kombination mit der Netznullspannung aus, wie Bild 2 zeigt.

Nach Bild 2 bestimmen sich die Admittanzen der Leitungen für eine ungestörte Leitung i aus

$$\frac{3I_{0u}}{U_0} = Y_{ui} = Y_{0i} \tag{1}$$

$$\frac{3I_{0u'}}{U_{0'}} = Y_{ui'} = Y_{0i} \tag{2}$$

mit den Nulladmittanzen einer ungestörten Leitung während des Erdschlusses vor (Y_{ui}) und nach ($Y_{ui'}$) dem Einschalten der Resistanz.

Dr.-Ing. *Jozef Lorenz* ist wissenschaftlicher Mitarbeiter, Prof. Dr. *Alexander Kordus* ist Bereichsleiter am Institut für Energoelektrik der TH Poznan.

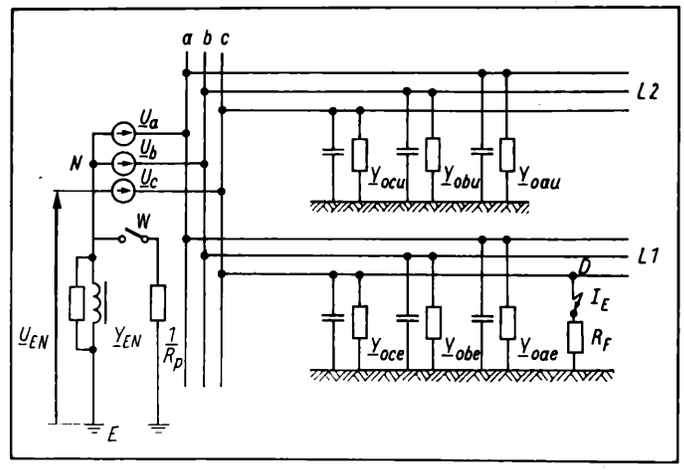


Bild 1. Dreipoliger Schaltplan eines MS-Netzes zur Analyse einpoliger Erdschlüsse

$\underline{U}_a$, $\underline{U}_b$, $\underline{U}_c$	Treibende Spannungen
U_0	Netznullspannung gleich der Verlagerungsspannung U_{EN}
I_E	Erdschlußstrom
$\underline{Y}_{0au}$ $\underline{Y}_{0bu}$, $\underline{Y}_{0cu}$	Leiter-Erde-Admittanzen der ungestörten Leitung
$\underline{Y}_{0ae}$, $\underline{Y}_{0be}$, $\underline{Y}_{0ce}$	Leiter-Erde-Admittanzen der gestörten Leitung
$\underline{Y}_{EN}$	Admittanz der Erdschlußspule
R_p	Resistanz des Parallelwiderstandes
R_F	Fehlerresistanz an der Erdschlußstelle

Für eine erdschlußbehaftete Leitung wird hingegen

$$\frac{3I_{0E}}{U_0} = Y_E = \left| \sum_{i=2}^{n} \underline{Y}_{0i} + \underline{Y}_{EN} \right| \tag{3}$$

$$\frac{3I_{0E'}}{U_{0'}} = Y_{E'} = \left| \sum_{i=2}^{n} \underline{Y}_{0i} + \underline{Y}_{EN} + \frac{l}{R_p} \right| \tag{4}$$

mit den Nulladmittanzen einer erdschlußbehafteten Leitung vor (Y_E) und nach ($Y_{E'}$) dem Einschalten der Resistanz.

Der Vergleich dieser Formeln zeigt, daß die Admittanzdifferenz Y_{ui} und $Y_{ui'}$ einer ungestörten Leitung, abgesehen von Meßfehlern der Stromwandler, gleich Null ist. In einer erdschlußbehafteten Leitung ist dagegen die Admittanzdifferenz Y_E und $Y_{E'}$ nicht Null. Sie hängt für gegebene Netz- und Leitungsparameter vom Wert der Parallelresistanz R_p ab.

Untersuchungen der Gleichungen 1 bis 3, mit Berücksichtigung der Möglichkeit des Auftretens einer natürlichen Unsymmetrie im Netz, zeigten, daß deren Einfluß auf die Werte der gemessenen Admittanzdifferenzen gering und praktisch vernachlässigbar ist. Daher wird die Einstellung des Schutzes hauptsächlich durch den Wert der Amplitude des Stromfehlers des Nullstromwandlers bestimmt. Die Selektivität wird gesichert, wenn der Einstellwert Y_n durch

$$Y_n \geqq I_f \left| \frac{l}{U_0} - \frac{l}{U_{0'}} \right| \tag{5}$$

ausgedrückt wird, wobei I_f die Amplitude des Fehlers des Nullstromwandlers bedeutet.

Die notwendige Empfindlichkeit erreicht man, wenn

$$(Y_{E'} - Y_E) > Y_n \tag{6}$$

wird. Die Differenz zwischen $Y_{u'}$ und Y_u hängt vom Parallelwiderstand R_p und dem nicht kompensierten kapazitiven Erdschlußstrom in der gestörten Leitung ab.

Man kann feststellen, daß der Leitungsnulladmittanzvergleichsschutz bedeutend leichtere Forderungen an die Reststromerhöhungsschaltung als der Richtungsschutz stellt. Die Effekte der Anwendung des Leitungsnulladmittanzvergleichsschutzes zeigt deutlicher das Bild 3. In diesem Bild werden Grenzkurven der Fehlerresistanzen R_F angegeben, die noch eine einwandfreie Arbeit des neuen und des traditionellen Erdschlußschutzes in einem 15-kV-Netz bei exakter Kompensation des kapazitiven Erdschlußstromes garantieren, wobei ein minimaler Wert des aufzuzwingenden Stromes von 6 A angenommen wurde.

Die Kurve 3 gilt für die Parallelschaltung einer Reaktanz, die einen zusätzlichen Blindstrom hervorruft. Ein zusätzlicher Effekt infolge des induktiven Charakters des zusätzlichen Stromes ist durch den kleineren Einfluß der Änderungen des kapazitiven Erdschlußstromes des Netzes auf die Nullspannung gegenüber den Änderungen des Wirkstromes zu erklären.

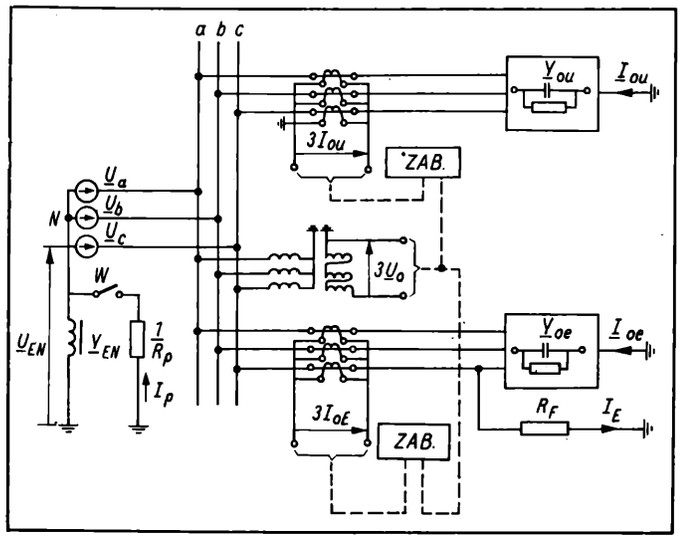


Bild 2. Anschaltung des Erdschlußschutzes

$3\,I_{0\,E}$ Sekundärer Nullstrom in einer gestörten Leitung
$3\,I_{0\,u}$ Sekundärer Nullstrom in einer ungestörten Leitung
$3\,U_0$ Sekundäre Nullspannung
$I_{0\,u}$, $I_{0\,e}$ Erdschlußströme der Leitungen

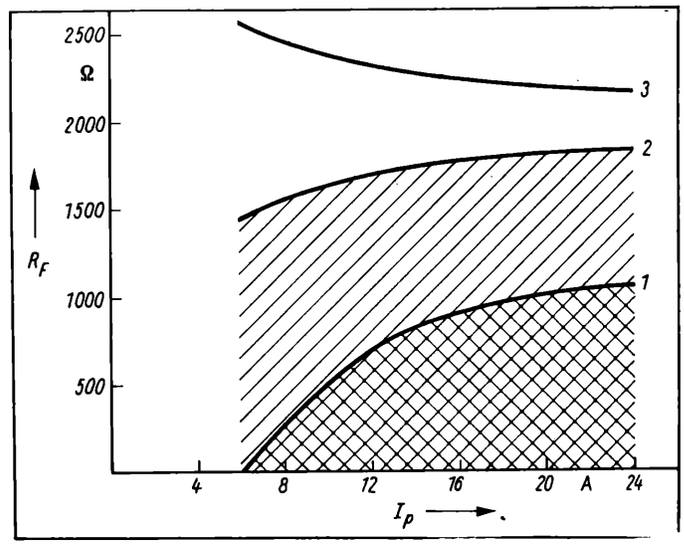


Bild 3. Fehlerresistanzen R_F im 15-kV-Netz, die die Anregung des Erdschlußschutzes ermöglichen, wenn ein Fehlerstrom I_f von 100 mA (Wandlerübersetzungsverhältnis 30) in Gegenphase zum aufgezwungenen I_p-Strom auftritt

1 Grenzkurve eines Richtungsschutzes mit einem Ansprechstrom $I_a = I_f$.
2 Grenzkurve für Nulladmittanzvergleichsschutz mit Parallelresistanz.
3 Grenzkurve für Nulladmittanzvergleichsschutz mit Parallelreaktanz

2. Aufbau und Ergebnisse der Untersuchung des Prototyps

Ein Prototyp des Schutzes (vereinfachtes Blockschaltbild siehe Bild 4) wurde entworfen und gebaut.

Die Signale $3\,U_0$ und $3\,I_0$ werden gefiltert dem Meßglied C_p zugeführt, das ein Signal proportional dem Quotienten der Eingangssignale erzeugt. Die Umschalter $K1$ und $K2$ erlauben die Meßwerte Y und Y' dem Speicher zuzuführen. Nach der Messung wird der Einstellwert Y_n bestimmt. Das Steuerglied T in Zusammenarbeit mit der Automatik der Erhöhung der Wirkkomponente entscheidet über den Zeitpunkt der Messung und sichert gegebenenfalls die Wiederholung beider Messungen, weil die Resistanz R_p bereits 5 s nach der Einschaltung wieder abgeschaltet wird.

Das Relais ist auf analog-digitalen Elementen aufgebaut. Zu den Hauptelementen des Meßgliedes zählen die Spannung (Strom) — Frequenz Umformer. Die Speicherschaltungen des Relais sind auf zählenden Elementen aufgebaut, die gleichzeitig die Bildung einer Differenz ermöglichen. Der Schutz wurde in einem Einschub passend für Schutz- und Automatik Einheit ZAZ untergebracht.

Nach erfolgreicher Untersuchung des Prototyps im Labor wurden Versuche des Schutzes im Netz durchgeführt. Hierfür wurde ein kompensiertes 15-kV-Netz mit kapazitivem Erdschlußstrom von 50 A im Energiebetrieb Poznan ausgewählt. Eine Analyse der Erdschlußversuche (Tafel 1) zeigt, daß der Schutz in allen Fällen, auch bei einer Resistanz R_F von 1800 Ω einwandfrei arbeitete.

Während des 1jährigen praktischen Betriebes hat der Schutz 100% der vorkommenden einpoligen Erdschlüsse erfaßt. Bei 87 aufgetretenen Dauererdschlüssen in der untersuchten Leitung hat der Schutz auch 87mal angesprochen. Der in derselben Zeit und in derselben Leitung arbeitende Richtungsschutz versagte dagegen in 29% der Fälle. Seit 1983 befinden sich 6 Prototypen des neuen Schutzes in der Betriebserprobung. Ihre Arbeit ist sehr befriedigend. 1984 wurden 30 industriell gefertigte Relais in den Netzen eingesetzt.

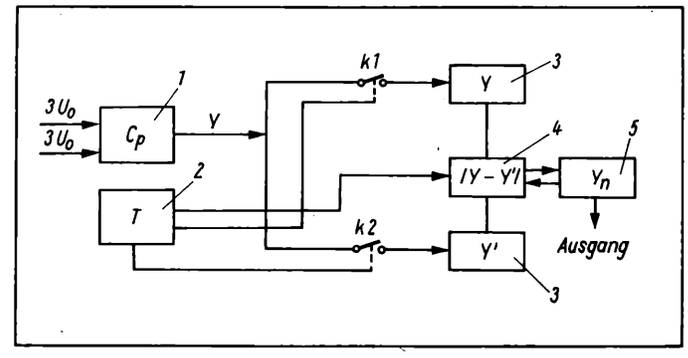


Bild 4. Blockschaltplan des Erdschlußschutzes (Eingang: $3\,U_0$; $3\,I_0$)
1 Meßglied, *2* Steuerglied, *3* Speicher, *4* Differenzglied, *5* Stellglied

Tafel 1. Ergebnisse von Erdschlußversuchen

Anzahl der Versuche	R_F Ω	$3\,U_0$ %	Verstimmung %	Zusatzstrom I_p [A]	Art	Anzahl der Anregungen
12	150—1600	25—70	34	15	Wirk	12
10	100—1800	30—80	10	15	Wirk	10
8	200—1000	40—90	10	10	Blind	8

3. Schlußfolgerungen

1. Ein Erdschlußschutz, der auf Leitungsnulladmittanzen anspricht, weist bei gleichen Parametern der Wirkstromerhöhung eine wesentlich höhere Zuverlässigkeit und Selektivität als ein Richtungsschutz auf.

2. Die hohe Empfindlichkeit des Admittanzvergleichschlußschutzes ist dadurch gegeben, weil die Einschaltung der Automatik zur Erhöhung des Reststromes eine Änderung der Nulladmittanz nur in der erdfehlerbehafteten Leitung verursacht, die aus Nullstrom und Nullspannung ermittelt werden kann.

3. Durch die Anwendung des Admittanzvergleichs-Kriteriums wird der Einfluß der Fehler der Nullstromwandler sowie der Verlagerungsspannung im Normalbetrieb auf den Wert des Anregungssignals des Schutzes geringer.

4. Die Anwendung des neuen Kriteriums für den Erdschlußschutz erlaubt im wesentlichen, alle praktisch vorkommenden Dauererdschlüsse richtig zu orten. Auch in den Fällen, wo der zusätzliche Wirkstrom zweimal kleiner ist, als es für den Richtungsschutz notwendig ist.

5. Die Ausführung des Admittanzvergleichsschutzes ist einfach bei Anpassung an den Aufbau der Schutzeinheiten (z. B. ZAZ) in modernster Halbleitertechnik.

6. Netzuntersuchungen des Prototyps des Schutzes haben eindeutig die Brauchbarkeit des neuen Kriteriums für die Realisierung des Erdschlußschutzes in polnischen MS-Netzen mit Resonanz-Sternpunkterdung bewiesen.

Literatur

[1] *Florkowski, .W; Lorenz, J.;. Mackowiak, M.; Musierowicz, K.:* Sposób i uklad wybiorczego zabezpieczenia od jednofazowych zwarć z ziemia w sieci o małym pradzie ziemnozwarciowym. Patent PRL Nr 203545

[2] *Kordus, A.; Lorenz, J.:* Zuabezpieczenie ziemnozwarciowe sieci SN oparte o porównywanie modułów admitancji zerowych linii. Materiały Miedzynarodowej Konferencji: Aktualne problemy automatyki w energetyce. Politechnika Śląska. Gliwice, 6—9 czerwiec 1979 r

[3] *Kordus, A.; Lorenz, J.:* Nowe porównawczo-admitancyjne zabezpieczenie ziemnozwarciowe sieci SN. Materily Miedzynarodowej Konferencji nt. ,,Optymalizacja projektowania i ekspoloatacji systemow i urzadzeń elektroenergetycznych", Politechnika Warszawska, Warszawa 18—20 listopada 1980 r

[4] *Lorenz, J.:* Porównawczo-admitancyjne kryterium identyfikacji deziemienych linii elektroenergetycznych w kompensowanej sieci SN. Rozprawa doktorska przedlozona Radzie Wydziału Elektrycznego Politechniki Poznanskiej 1980 r.

EA 5626

KONSULTATIONS- UND APPLIKATIONSZENTRUM MESSWESEN

Konsultations- und Applikationszentrum Meßwesen gebildet

Die Umstellung unserer Volkswirtschaft auf jene neuen und zukunftsträchtigen Technologien, die den Schlüssel zu dauerhaftem und dynamischem Wachstum der Produktivität, Qualität und Effektivität darstellen, ist eine aktuelle Aufgabe. Sie erfordert u. a. zwingend den breiten Einsatz von zweckentsprechender Meß- und Prüftechnik im Produktionsprozeß im Rahmen von Qualitätssicherungssystemen mit dem Ziel der fehlerfreien Arbeit. Der Eigenbau von prozeßspezifischer Meß- und Prüftechnik im Rationalisierungsmittelbau der Kombinate spielt dabei eine entscheidende Rolle. Um ihn in breitem Umfang zu unterstützen, z. B. durch die Vermittlung von Erfahrungen bei der Entwicklung und Produktion von Meßmitteln und entsprechenden Lösungsvarianten, wurde im ASMW ein

Konsultations- und Applikationszentrum Meßwesen

gebildet. Die umfangreichen meßtechnischen und normativ-technischen Kenntnisse und Erfahrungen der Mitarbeiter des ASMW aus langjähriger Arbeit auf dem Gebiet der metrologischen Forschung, der gesetzlichen Metrologie oder des betrieblichen Meßwesens stehen in Beratungen und durch die Weitergabe von Applikationslösungen der metrologischen Forschung allen Interessenten zur Verfügung.

Viele zur Lösung der zentralen staatlichen Aufgaben des ASMW entwickelten Meßverfahren und -geräte, z. T. rechnergestützt, sind auch in den Kombinaten zur metrologischen Sicherung der Produktion einsetzbar. Sie können als Dokumentation oder in begrenztem Umfange durch Verkauf bzw. Ausleihe nachgenutzt werden.

Durch die Einbeziehung weiterer Erfahrungsträger außerhalb des ASMW und eine enge Zusammenarbeit mit ihnen wird künftig verstärkt auf die Vermittlung erprobter meßtechnischer Lösungen aus allen Volkswirtschaftsbereichen orientiert und eine Vermittlung der Interessenten an die fachlich zuständigen Stellen ermöglicht.

Schrittweise werden folgende Leistungen durch das Konsultations- und Applikationszentrum Meßwesen angeboten:

- *Information*
  - — und Beratung zum zweckmäßigen Einsatz handelsüblicher Meßmittel aus der Produktion von DDR-Betrieben und aus sozialistischen Ländern
  - — und Beratung zum zweckmäßigen Einsatz von Meßmitteln, die im Rationalisierungsmittelbau der Kombinate bzw. in Forschungseinrichtungen gefertigt wurden
  - — Zur Herstellung von Verbindungen zu anderen Erfahrungsträgern in Betrieben und Einrichtungen

- *Konsultation*
  - — zur Lösung spezieller Meßaufgaben
  - — zur rechnergestützten Lösung von Meßaufgaben, einschließlich der Software
  - — zur Einrichtung von Meßräumen und Prüflaboratorien
  - — zur Reparatur von NSW-Importgeräten.

- *Vermittlung von Applikationsleistungen*
  - — Durchführung meßtechnischer Untersuchungen mit ASMW-Einrichtungen
  - — Ausleihe von Meßmitteln
  - — Bereitstellung von Dokumentationen nachnutzbarer meßtechnischer Lösungen, einschließlich von Software
  - — Durchführung gemeinsamer Entwicklungsarbeiten auf kooperativer Grundlage
  - — Bereitstellung von Baugruppen aus eigener Entwicklung

- *Qualifizierung von Spezialisten des Meßwesens aus den Betrieben*
  - — bei der Nutzung von Applikationsleistungen
  - — zu gesetzlichen Regelungen auf dem Gebiet des Meßwesens
  - — zur Organisation des betrieblichen Meßwesens.

Zur Zeit werden die erforderlichen Informationsbeziehungen aufgebaut. Darüber hinaus soll eine enge Zusammenarbeit mit bereits bestehenden Anwenderberatungszentren entwickelt werden. Interessenten können sich wenden an: Amt für Standardisierung, Meßwesen und Warenprüfung Konsultations- und Applikationszentrum Meßwesen Koordinierungsstelle
Telefon 65 26 515

Fürstenwalder Damm 388

Berlin

1162

Es werden jederzeit von Betrieben, Forschungseinrichtungen meßtechnische Lösungsvorschläge zur Vermittlung und Nachnutzung entgegengenommen.

D. Miethling, Berlin EA 2155

FACHTAGUNGEN

Intensivierung im Elektroanlagenbau — Neue Erkenntnisse aus Anlagengestaltung, Projektierung, Anlagenfertigung und -montage

IV. Wissenschaftliche Konferenz der TH Leipzig Sektion Elektroenergieanlagen[1])

Die IV. Wissenschaftliche Konferenz der Sektion Elektroenergieanlagen an der TH Leipzig fand vom 12. bis 15. November 1985 in Leipzig statt. Sie wurde von 450 Teilnehmern besucht, darunter 50 Gästen aus der UdSSR, der Ungarischen VR, der VR Polen, der SR Rumänien, aus Österreich, aus der Schweiz, der BRD, Italien und der Syrischen Arabischen Republik. Die Konferenz wurde mit der Plenartagung eröffnet und danach in *7 Sektionen* fortgesetzt.

I Perspektivische Anlagengestaltung mit 27 Vorträgen und 2 Rundtischgesprächen

II Automatisierte Anlagenfertigung und Rationalisierung der Anlagenmontage mit 13 Vorträgen, 5 Posterbeiträgen und 4 Rundtischgesprächen

III Automatisierung der Projektierung und der Steuerung von Elektroenergieverteilungsanlagen mit 27 Vorträgen, 13 Posterbeiträgen und 3 Rundtischgesprächen

IV Verbindungs- und Anschlußtechnik mit 19 Vorträgen, 1 Posterbeitrag und 3 Rundtischgesprächen

V Zuverlässigkeit und Sicherheit elektrotechnischer Anlagen und Systeme mit 23 Vorträgen

VI Ingenieurausbildung im Elektroenergieanlagenbau mit 8 Vorträgen

VII Ökonomische und soziale Probleme der automatisierten Produktionsvorbereitung mit 9 Vorträgen.
Diese Vortragsgruppe lief unter der Regie der Sektion Marxismus-Leninismus der TH Leipzig. Die Sektion Elektroenergieanlagen pflegt eine enge Zusammenarbeit mit dieser Sektion. Beide leisten für den gleichen Industriepartner arbeitsteilige Forschungsarbeit.

Insgesamt wurden 3 Plenarvorträge sowie 126 wissenschaftliche Vorträge gehalten, ergänzt durch 19 Posterbeiträge und durch 12 Rundtischgespräche. Aus dem Ausland sind 32 Referenten aufgetreten. 383 Diskussionsbeiträge wurden registriert. Diskussionsschwerpunkte waren:

- — Vakuumschalttechnik — Überspannungsentstehung und -beherrschung
- — Vakuumsicherungen — Anwenderaufforderungen
- — Erwärmung von Anlagen (Stromschienenverbindungen)
- — Gestaltung des Energieteiles von NS-Anlagen (Sammelschiene und Geräteraum speziell zum Bestückungs- und Anschlußraum)

[1]) Einen Überblick über das Profil der Sektion vermittelt der Beitrag „10 Jahre Sektion Elektroenergieanlagen an der TH Leipzig", in ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 3, S. 84 und 113—116.

— Leittechnik für Verteilungsanlagen
— Komplexe Einführung der Mikrorechentechnik in der Vorbereitung und Durchführung von Fertigungs- und insbesondere von Montageprozessen
— Situationsangepaßte Softwarebereitstellung innerhalb der Prozeßleittechnik
— Komplexe Herangehensweise bei der Problemlösung der Gebrauchswerte prozeßleittechnischer Einrichtungen (das betrifft Funktionsumfang, Preis, elektromagnetische Verträglichkeit, Zuverlässigkeit, Dialogführung)
— starke Systematisierung der Arbeitsphasen der Softwareentwicklung durch Vorgabe von Systematiken, Rahmensoftware, Abstimmhilfen für Betreiber-Projektant
— verstärkte Anwendung von Methoden der Informatik zur Notierung (Petri-Netze), formaler Datenprüfung, Situationsklassifizierung
— Betriebsführung erfährt eine entscheidende Qualifizierung durch Einsatz von Expertensystemen, stellt aber auch erhöhte Anforderungen an die Fixierung der kompatiblen Informationsstrukturen und Inhalte
— Beiträge zur Optimierung von elektrischleitenden Schlitzklemmenverbindungen
— Mathematische Modelle von Kontaktverbindungen
— Methoden zur Prüfung von elektrischleitenden Verbindungen und Anschlüssen
— Beiträge zur Rollpreßtechnik (Anwendungsmöglichkeiten)
— Belastungsabhängiges Verhalten nicht konventioneller Leiterwerkstoffe in kraftschlüssigen Verbindungen
— Materialökonomie bei Steckverbindungen unter Beachtung der Beibehaltung der Zuverlässigkeit
— Aspekte beim Einsatz von Industrieroboter für die Verdrahtung
— Mathematische Methoden zur Bewertung der Elektrosicherheit und Anwendungsbeispiele (Erdungsanlagen, Mittelspannungsfreileitungen u. a.)
— Zuverlässigkeit und Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen
— Analyse der Personengefährdung durch Schritt- und Berührungsspannung bei 750-kV-Freileitungen
— Versorgungszuverlässigkeit und Bediensicherheit durch eine moderne Prozeßleittechnik
— Erhöhung der Elektrosicherheit durch Wartung und Instandhaltung
— Sicherheitsbewertung technologischer Prozesse
— Unfälle durch elektrischen Strom im Haushalt
— Das Aus- und Weiterbildungskonzept der Sektion Elektroenergieanlagen in Auswertung der Politbürobeschlüsse des ZK der SED
— Die Aus- und Weiterbildung auf dem Gebiet der rechnergestützten TEVO-Prozesse im Elektroenergieanlagenbau
— Entwicklungstendenzen der Meß- und Sensortechnik und ihre Auswirkungen auf die Ausbildung von Elektroingenieuren
— Perspektivische Gesichtspunkte bei der Ausbildung von Elektroingenieuren in der UdSSR
— Beiträge zur Software-Entwicklung für die rechnergestützte Lehre im Fach Grundlagen der Elektrotechnik
— Konzeption zur postgradualen Weiterbildung auf dem Gebiet der Elektrosicherheit und Zuverlässigkeit
— Probleme der automatisierten Produktionsvorbereitung aus sozialer Sicht
— Potenzen und Probleme der Zusammenarbeit von Technik- und Gesellschaftswissenschaftlern bei der Entwicklung von CAD/CAM
— Effektivität der rechnergestützten Projektierung
— weltanschaulich-ideologische Fragen des Mensch-Maschine-Systems bei der Einführung von CAD-Systemen.

Die Vorträge wurden in folgenden Zeitschriften publiziert:

— ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 11, S. 403—418
— ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) Heft 9 (Schwerpunktheft Elektrosicherheit und Zuverlässigkeit)
— Energietechnik, Leipzig 35 (1985) Heft 10 (Schwerpunktheft)
— Sozialistische Rationalisierung in der Elektrotechnik/Elektronik, Dresden 15 (1986)
  • Heft 1 (Seite 3 bis 11)
  • Heft 2 (Seite 38 bis 45).
— Wissenschaftliche Berichte der TH Leipzig (1985)
  • Heft 11 (Perspektivische Anlagengestaltung)
  • Heft 12 (Automatisierte Anlagenfertigung, Automatisierung und Steuerung von Elektroenergieverteilungsanlagen)
  • Heft 13 (Elektrosicherheit und Zuverlässigkeit)
  • Heft 14 (Ingenieurausbildung im Elektroanlagenbau; ökonomische und soziale Probleme der automatisierten Produktionsvorbereitung).

Die wissenschaftlichen Berichte können in der Hochschulbibliothek ausgeliehen bzw. soweit noch vorhanden käuflich erworben werden. Die Verleihung der Ehrendoktorwürde der TH Leipzig am 14. 11. 1985 an Prof. Dr. der techn. Wiss. *Wladimir Viktorowitsch Solodownikow*, Leiter des Lehrstuhls für Automatische Steuerungssysteme an der Baumann-Hochschule Moskau, war ein Höhepunkt an der Hochschule während der Konferenz. Prof. *Solodownikow* hielt einen Festvortrag zum Thema „Kompliziertheit und Systementwurf".
Eine *Ausstellung*[2]) stellte anschaulich auf 27 Tafeln die Schwerpunkte der Arbeit der Sektion in den Komplexen

• Profil der Sektion Elektroenergieanlagen
• Schwerpunkte zur Gestaltung technischer Prozesse Energie- und Materialökonomie
• CAD/CAM
• Prozeßleittechnik
• Konstruktion und Technologie
• Elektrosicherheit

dar und gab somit einen guten Überblick über die Aufgaben in Lehre und Forschung sowie deren Zuordnung zu den Lehrstühlen und Dozenturen.

Die Darstellungen waren übersichtlich und grafisch gut gestaltet, ihre inhaltlichen Aussagen waren ansprechend und informativ. Die Komplexe standen im engen Zusammenhang mit den Darlegungen innerhalb der verschiedenen Sektionen und waren somit thematisch in den wissenschaftlichen Gegenstand der Konferenz voll integriert. Insgesamt kann die Ausstellung als eine niveauvolle Darstellung der Arbeitsschwerpunkte und wissenschaftlichen Bereicherung der Konferenz angesehen werden.

S. Altmann, Leipzig EA 2182

[2]) Dem VE Kombinat Automatisierungsanlagenbau sei an dieser Stelle nochmals Dank gesagt für die Unterstützung bei der Ausgestaltung der Konferenzausstellung.

Natürliche Verschmutzung von Isolatoren — Auswahl von Isolatoren für Verschmutzungsgebiete

274. Elektrotechnisches Kolloquium der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden am 20. 11. 1985

Referent: Dipl.-Ing. *Beier*, Institut für Energieversorgung Dresden

Dem kontinuierlichen Absenken der Zahl der Fremdschichtstörungen in der DDR pro Jahr in den vergangenen 25 Jahren steht ein Anwachsen des volkswirtschaftlichen Schadens je Einzelstörung gegenüber. Damit zählt das Fremdschichtproblem nach wie vor zu den Hauptproblemen.

Fremdschichten sind einerseits natürliche Ablagerungen (Bodenstäube, Nebelfrost, Schnee, Eis, Nässe), andererseits Immissionen, im wesentlichen von Industrie, Landwirtschaft und Verkehr herrührend, auf Isolatorenoberflächen, wobei diese in fester (Sedimentationsstaub), flüssiger (Elektrolyte) oder gasförmiger Form einzeln oder im Verband auftreten können. Unter normalen Wetterbedingungen erfolgt der Abtransport der Emissionen der Industrie in höhere atmosphärische Schichten.

Austauscharme Wetterlagen (Inversionswetterlagen) führen zu einer Anreicherung im erdnahen Raum. Besonders schwierige Fremdschichtbedingungen ergeben sich deshalb bei gleichzeitigem Auftreten von Rauhreif, nassem Schnee oder Eis auf den Isolierungen und Inversionswetterlagen.

Die Auswahl bzw. Bemessung der Isolierungen setzt die Kenntnis der Fremdschichtbelastung im Territorium voraus. Es ist international üblich, diese Belastung Fremdschichtklassen zuzuordnen. Dabei ist eine Fremdschichtklasse eine Klasse einer bestimmten Bandbreite einer oder mehrerer charakteristischer Größen (z. B. Verschmutzungsdichte [mg/cm² · d], Leitfähigkeit des eingefangenen Staubes [μS/cm]). Sedimentationsfremdschichten werden in der DDR durch die Schichtleitfähigkeit (μS) an einer bestimmten Isolatorgeometrie und durch Belastungsstufen (für

Sedimentationsstaub) entsprechend der 5. DVO zum Landeskulturgesetz charakterisiert.

Die Klassifizierung des Territoriums in Fremdschichtklassen erfolgt anhand eines vom VE Kombinat Verbundnetz Energie — Institut für Energieversorgung entwickelten Verfahrens in Verbindung mit partiell gemessenen Schichtleitfähigkeitswerten. Der Vorzug dieses Verfahrens wird darin gesehen, daß auf der Grundlage einjähriger partieller Schichtleitfähigkeitsmessungen an spannungsfrei unter natürlichen Umweltbedingungen verschmutzten Testisolatoren LS 75/21 die Einordnung des Territoriums bereits erfolgen kann. Ungleichmäßigkeit der Verschmutzung und Spannungseinfluß auf den Schmutzansatz am Testisolator finden durch einen Vergrößerungsfaktor Berücksichtigung. Zwischen den nach der Erfahrung gewählten Fremdschichtklassen und den nach dem Verfahren bestimmten besteht in stärker belasteten Territorien in der Regel Übereinstimmung.

Die Bemessung der für das klassifizierte Territorium erforderlichen Freileitungsisolierungen erfolgt im Sinne von TGL 8678/02 vorzugsweise anhand von Fremdschicht-Nennstehwechselspannungen. Dabei wird vom Grundsatz ausgegangen, ohne prophylaktische Maßnahmen eine möglichst lange Standzeit zu erzielen. Die Kettenausführungen sind für den Freileitungsbereich des KVE und der Energiekombinate für Neubauobjekte in einer abgestimmten Isolations-Konzeption festgelegt. Vorzugsweise gelangen Langstabisolatoren zum Einsatz. Lediglich 380-kV-Kraftwerksausleitungen im Einflußbereich von Rückkühlanlagen werden mit Ketten aus Glaskappenisolatoren (PSG 120 A) ausgerüstet.

Die Bemessung der Geräteisolierung von Außenschaltanlagen der Nennspannung 110 kV und darüber ist erheblich komplizierter, da diese vielfach nicht der geforderten Fremdschichtklasse entspricht. Prophylaktische Maßnahmen sind hier notwendig. Innenanlagen (SF_6-Schaltanlagen) sind in Gebieten starker und sehr starker Verschmutzung eine Alternative.

Zur Erfüllung der Aufgabe einer sicheren Energieübertragung unter allen meteorologischen Bedingungen ist dem Problem des Zusammenwirkens von Rauhreif bzw. Eis auf Isolatoren und hochleitfähigen Niederschlägen (Regen, Nieselregen, Nebel) auf die Isolationsfestigkeit besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

In der Diskussion wurden Fragen der praktischen Umsetzung des Verfahrens zur Bestimmung der Fremdschichtklasse anhand partiell gemessener Schichtleitfähigkeitswerte, zur gültigen Modellvorstellung des Fremdschichtüberschlages und zur geplanten Überarbeitung von TGL 8678/03 beantwortet.

H. Böhme; H. Beier; Dresden EA 2164

Entscheidungsprobleme in der Elektroenergietechnik

276. Elektrotechnisches Kolloquium der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden am 04. 12. 1985
Referent: Prof. Dr. sc. techn. *E. Muschick*, Ingenieurhochschule Zittau

„Es wird keinerlei Glaubwürdigkeit in den Wissenschaften geben, wo man keine der mathematischen Wissenschaften anwenden kann und auch nicht in dem, was keine Verbindung zur Mathematik hat"

Dieses Zitat von *Leonardo da Vinci* (1452 bis 1519) stellte der Referent an den Anfang seiner Ausführungen.

Am Beispiel von Entscheidungen, um die bei der Entwicklung der Elektroenergietechnik zum Teil über Jahrzehnte hinweg gerungen wurde, z. B. die Entscheidung Gleich- oder Wechselstrom für Elektroenergiesysteme oder die Anwendung von Kappen- oder Langstabisolatoren im Freileitungsbau, wurde die Bedeutung objektiver Kriterien und mathematischer Hilfsmittel deutlich gemacht, insbesondere für Bereiche der Volkswirtschaft mit hohen Investitionen sowie großen Bauzeiten und Nutzungsdauern, wie eben die Elektroenergietechnik.
Unter Entscheidung wird dabei stets die Wahl aus einer Menge zulässiger Lösungen verstanden, die langfristig, kurzfristig oder operativ zu treffen ist. Im Grenzfall kann auch eine nachträgliche Bewertung einer getroffenen Entscheidung einbezogen werden. Es wird zwischen einstufigen und mehrstufigen (mit Korrekturschritten) Entscheidungen unterschieden. Nach der Art von Entscheidungen gibt es:

- den deterministischen Variantenvergleich
- die Klasse der strategischen Entscheidungen
- die mehrzielorientierten strategischen Entscheidungen.

Schließlich wird in empirisch und mathematisch modellierte Entscheidungen eingeteilt. Der Aufwand für die mathematische Modellierung ist in der Regel nur bei komplizierten oder wiederholten Entscheidungen gerechtfertigt.
Bei der Erläuterung des heute zur Verfügung stehenden mathematischen Apparates der Entscheidungstheorie wurde, ausgehend von den Eingangsgrößen „Alternativen" und „Konsequenzen" erläutert, wie sich die Wahl verschiedener Bewertungskriterien, z. B. nach *Hurwicz, Bayes-Laplace, Hodges-Lehmann*, auf das Ergebnis auswirkt. Am Beispiel Auswahl eines optimalen Kabelquerschnitts zur Versorgung eines Abnehmers bei vorgegebenem Streuband der Abnehmerleistung wurden die nach den verschiedenen Bewertungskriterien unterschiedlichen Ergebnisse diskutiert.
In der anschließenden, lebhaften Diskussion wurden weitere Anwendungsfälle genannt, z. B. die Auswahl eines Standorts für ein Kernkraftwerk, der Ausrüstungsumfang von Mittelspannungsstationen und die Blindleistungskompensation in Ortsnetzstationen.
Abschließend wurde hervorgehoben, daß die Anwendung mathematischer Hilfsmittel bei Entscheidungsproblemen zur Konsequenz der Gedanken zwingt, in einem Maße, dem man sich sonst wohl nicht unterzieht. Aufgaben für die Aus- und Weiterbildung von Ingenieuren wurden daraus abgeleitet.

H. Ambrosch, Dresden EA 2152

Programmsystem DDC-DIALOG

120. Sektionskolloquium Automatisierungstechnik der Technischen Hochschule Karl-Marx-Stadt am 5. Dezember 1985

Dr.-Ing. *Ralf Neumann*, Mitarbeiter der Sektion Automatisierungstechnik, stellte unter o. g. Thema ein Programmsystem zur Programmierung digitaler Regler und binärer Steuerungen vor. Es wurde unter der Zielstellung der Rationalisierung der Softwareprojektierung erarbeitet.
Zunächst stellte der Referent die Teilaufgaben bei der Implementierung von digitalen Reglern wie folgt vor:

1. Reglerentwurf auf der Grundlage eines Signalflußbildes oder Boolescher Gleichungen
2. Hardwaregestaltung, d. h. Festlegung der erforderlichen Konfiguration
3. Bedienung der Hardware (Initialisierung, E/A-Operationen, Zeitgebersteuerungen, Formalisierung usw.)
4. Zeitorganisation der Reglerfunktionen
5. Programmierung der Reglerfunktionen
6. Programmtest
7. Inbetriebnahme

Das vorgestellte Programmsystem DDC-DIALOG dient der Unterstützung des Ingenieurs bei den Aufgaben 3. bis 7. Im folgenden wurde auf die Realisierung von Programmen zur digitalen Regelung näher eingegangen. Nach der fachspezifischen Notation, d. h. Programmierung in fachspezifischer Sprache mittels Dialog, erfolgt die Programmierung auf verschiedenen rechentechnischen Sprachniveaus.
Der anschließende Test der Reglerprogramme kann sowohl an einer realen oder einer simulierten Strecke durchgeführt werden.
Nach Vorstellung der in der Modulbibliothek realisierten Elemente des Regelkreises legte Dr. *Neumann* die Arbeitsweise des Programmteils „DDC" in den einzelnen Arbeitsstufen dar.
Die anschließende Erläuterung der Struktur des im Echtzeitbetrieb arbeitenden Programmteils DDC basiert auf dem Schalenkonzept. Die dargestellte „abstrakte Maschine", bestehend aus dem Kern „Prozessor", den Programmteilen DDC und E/A-Organisation sowie den peripheren Baugruppen, wurde nach folgenden zwei Aspekten gegliedert:

— Innerer Teil: Anpassung der Programme an Prozessor und Peripherie
— Äußerer Teil: hardware-unabhängige Programmierung des geforderten Verhaltens (Anwenderprogramm).

Das Zusammenwirken der Programmteile „DDC" und „DIALOG" ist wie folgt zu sehen:

1. Erfassung von Anwenderaufgaben im DIALOG:
   — Für analoge Größen nach Signalflußbild

— für binäre Variable nach Booleschen Gleichungen

2. Druck einer Liste zur Dokumentation
3. Erzeugung eines speziellen Codes (Anwenderprogramm)
4. Abarbeitung des speziellen Codes (Anwenderprogramm),

woraus sich die folgenden beiden grundsätzlichen Möglichkeiten ableiten:

— Steuerung/Regelung realer Objekte (beliebige K 1520-Konfiguration)
— Simulation von Regelungssystemen zur Überprüfung bzw. Optimierung mit grafischer Anzeige und Ausgabemöglichkeit (MC 80).

Die Ausführungen des Referenten wurden durch erläuternde Beispiele der Anwenderprogrammierung ergänzt.
In der anschließenden Diskussion kamen weiterhin verschiedene Einzelheiten, wie Tastperiodendauer, Anzahl der Reglerfunktionen und Modulaufrufe, zur Sprache.
Im Anschluß an das Kolloquium hatten alle Interessenten noch Gelegenheit, sich über die Arbeit mit dem vorgestellten Programmsystem am Rechner zu informieren.

G. Tippmann, Karl-Marx-Stadt EA 2134

„Zustandsabhängige Instandhaltung — Lagerdiagnose"

Am 13. 12. 1985 führte das KDT-Aktiv im VEB Kombinat Elektromaschinenbau mit etwa 50 Vertretern aus wichtigen Industriebereichen der DDR eine Problemberatung zu Entwicklungstendenzen auf dem Gebiet der Instandhaltung und Reparatur elektrischer Maschinen durch.
Die Diskussion, die sich auf die Analyse der Arbeitsgruppe für Organisation und Inspektion beim Ministerrat mit dem Titel „Bericht über erforderliche Maßnahmen zur zielgerichteten Bedarfsdeckung bei Elektromaschinen durch Verlängerung der Lebensdauer sowie zur besseren Instandhaltung, Reparatur und Regenerierung von Elektromaschinen" und die Ergebnisse der Studie „Vorbereitung eines staatlichen Standards zum Einsatz von Diagnosetechnik bei Elektromotoren und zur einsatzgerechten Projektierung" stützte, brachte folgende Ergebnisse.
Der breite Übergang von der vorbeugenden zur zustandsabhängigen Instandhaltung in Industriebetrieben mit mehreren zehntausend Elektroantrieben erfordert weitere Schritte zur Verringerung des hohen personellen Aufwandes für die Überwachungs- und Diagnosearbeiten.
Die stationäre Wälzlagerdiagnose, wie sie durch die KEM-Entwicklung vertreten wird, sollte zur Erfüllung dieser Aufgaben alle Lager eines Aggregates erfassen und die zentrale Datenerfassung ermöglichen.
Neben der Wälzlager- wird der Wicklungsdiagnose eine große Bedeutung beigemessen. Die Wicklungsdiagnose sollte auch die Fehlstellenlokalisierung zur weiteren Verringerung des Reparaturaufwandes beinhalten.
Gute Erfahrungen liegen bereits in wichtigen Industriebereichen, wie dem Rohrkombinat Riesa und dem PCK-Schwedt vor, wo durch Einführung des Diagnoseverfahrens Ausfälle wichtiger Antriebe verhindert werden konnten. Schon heute werden im Rohrkombinat Riesa aus der über die Wicklungstemperaturmessung rechnerisch abgeleiteten Restnutzungsdauer Reparaturaufträge ausgelöst.
Für Hochspannungsmaschinen ist die Bereitstellung von Wälzlagerdiagnosegeräten in jedem Fall erforderlich und ökonomisch.

K. Stephan, Dresden EA 2150

Programmsystem „LENE" für die rechnergestützte Ingenieurarbeit in der Leistungselektronik

121. Sektionskolloquium Automatisierungstechnik der Technischen Hochschule Karl-Marx-Stadt am 16. 1. 1986

Der Sektionsdirektor konnte zu diesem CAD-orientierten Sektionskolloquium wiederum eine große Zahl von Fachkollegen aus der sozialistischen Industrie und Partnerhochschulen begrüßen. Bei seinen einführenden Darlegungen verwies Prof. *Kronberg* auf die Verantwortung des Ingenieurs, für die routinemäßigen Prozesse der Entwurfs- und Projektierungsphase den Rechner zu nutzen.
Eine vordringliche Aufgabe auf dem Gebiet der Leistungselektronik stellt die Simulation dar. Hierfür ist die Bereitstellung von Software zur Generierung des Gleichungssystems unter Verwendung der ingenieurtechnischen Sprache, insbesondere der Schaltpläne, unumgänglich notwendig. Dabei wird zunächst auf den Einsatz von Bürocomputern orientiert, um auf diesem Weg beispielsweise Gleichungssystemgeneratoren zu erarbeiten.
Die leistungselektronischen Schaltungen sind wesentlich gekennzeichnet durch:

a) Vorgänge in verschiedenen Zeitbereichen
   — Schaltvorgänge im µs-Bereich
   — Ausgangsvorgänge im ms-Bereich
   — Arbeitszyklen im s-Bereich
b) nahezu sprunghafte Änderungen der Parameter
c) nichtlineares Verhalten der Bauelemente
   — Drosseln
   — Transformatoren
   — Transistorkapazitäten.

Aus diesen Eigenschaften ergeben sich gewisse Anforderungen an das CAD-System:

— Bauelementemodelle mit unterschiedlichem Abstraktionsgrad und Abstecken der Gültigkeitsbereiche
— Verwendung numerischer Verfahren (z. B. Anfangswertprobleme).

An der Sektion Automatisierungstechnik wird diese Thematik auch in Zukunft weitergeführt.
Der Forschungsstudent Dipl.-Ing. *Helfried Richter* stellte anschließend ein Netzwerkanalyseprogramm vor und erläuterte den Modellvorrat des Programmsystems „LENE":

— Widerstände — linear/nichtlinear
— Spulen — linear/nichtlinear
— Kondensatoren — linear/nichtlinear
— Übertrager — zwei Wicklungen mit Streuung
— Dioden
— Transistoren — als nicht ideale Schalter
— Thyristoren — als nicht ideale Schalter
— unabhängige Spannungsquellen — konstant/zeitabhängig
— gesteuerte Spannungsquellen — konstant/zeitabhängig
— unabhängige Stromquellen — konstant/zeitabhängig
— gesteuerte Stromquellen — konstant/zeitabhängig
— nichtlineare Kennlinien — kubische Interpolation mit Stützstellen
— Ansteuerschemata.

Am Bürocomputer zeigte Dipl.-Ing. *Richter* ein Beispiel für die Bauelementeeingabe und erläuterte die am Display erzeugten Bilder. Im weiteren wurde die mathematische Behandlung dargelegt mit folgenden Schwerpunkten:

— Knotenspannungs-Gleichungssystem
— Steuerung der Schrittweite
— nichtlineares Gleichungssystem
— NEWTON-Verfahren zur Näherungslösung
— Taylorreihen-Ansatz — nach zweitem Glied abgebrochen.

Es folgte als Demonstrationsbeispiel die Simulation eines Stromkreises mit rechteckimpulsangesteuertem Transistor, Diode, Induktivität und ohmschem Widerstand.
Ein weiteres Beispiel zeigte die Berechnung der thermischen Verhältnisse im Transistor auf der Basis der Verlustleistung.
Auf nachstehende Probleme, die in der Folgezeit zu lösen sind, wies der Referent hin:

— Die Schaltzeiten der Halbleiter werden kürzer, wodurch die Stromanstiegswerte wachsen.
— Daraus folgt weiter, daß bei der Modellierung der Netzwerke verteilte Kapazitäten berücksichtigt werden müssen.
— Von Lastkreisen verursachte Einstreuungen in die Ansteuerkreiselemente (z. B. Transistor) sind zu untersuchen und zu berücksichtigen.
— Die thermischen Systeme müssen der Berechnung besser zugängig gemacht werden.

In der anschließenden regen Diskussion kamen insbesondere noch Stabilitätsprobleme und deren mathematische Behandlung sowie Fragen der Berücksichtigung von Nichtlinearitäten zur Sprache.

G. Tippmann, Karl-Marx-Stadt EA 2169

Polymerwerkstoffe in Elektrotechnik und Elektronik

Mehr als 100 Fachleute aus Herstellerbetrieben, aus Anwenderkreisen sowie aus Forschung und Lehre folgten dem Ruf der TH Karl-Marx-Stadt, Sektion Chemie und Werkstofftechnik, zur 5. Fachtagung am 5. und 6. Februar 1986 in Karl-Marx-Stadt.
Traditionell bestehen die Fachtagungen aus Vortragsveranstaltungen und nachfolgenden Diskussionen.
In die Thematik der Tagung wurde vom Vizepräsidenten der KDT, Prof. Dr. sc. techn. *Budig*, fachlich eingeleitet. Er stellte anschaulich und eindringlich dar, daß die Werkstoffseite als eine wesentliche Basis

der Entwicklung der Elektrotechnik anzusehen ist.

Festkörper-Isolierstoffe auf Polymergrundlage wurden von *H. Raubach* in einem sehr beachteten Beitrag analysiert. Dabei spannte der Referent den Bogen vom klassischen Drahtlack bis zum Werkstofftyp der Isolationsklasse F. Sowohl für Isolationsaufgaben als auch für konstruktive Zwecke werden zunehmend Forderungen nach höherer Wärmeformbeständigkeit gestellt. Neuere Ergebnisse der diesbezüglichen sowjetischen Entwicklung sind ebenso interessant wie klassische, gefüllte Polymere. In die Polymere mit heterocyclischen Gruppen wurden von *Raubach* besondere Erwartungen gesetzt.

Den Konstruktionspolymeren widmete sich ein Vortrag von *M. Drey*. Den glasfaserverstärkten, gespritzten Erzeugnissen galt die besondere Aufmerksamkeit der Referentin. Die Makrostrukturen gespritzter Platten erwiesen sich als ebenso interessant wie die Mikrostrukturen solcher Erzeugnisse auf PA6-Grundlage. Die Mikrobefunde erlauben erweiterte Aussagen über solche Polymere.

Der zweite Teil der Vorträge war einigen Fragen der gegenwärtigen Praxis gewidmet. *H.-H. Huth* referierte über geschäumte Kabelisolierungen auf Polyäthylenbasis. Für Fernmeldekabel konnten sehr gute Ergebnisse erzielt werden. Das Verschäumen ist technologiefreundlich, ökonomisch günstig und führt bei geeigneter Wahl der Eigenschaften zu bemerkenswerten Erfolgen bei Fernsprechnetzen.

Mit einem Sondergebiet befaßte sich der Vortrag von *L. Libera*, er sprach über polymere Leiter und Halbleiter. Die Komposite mit metallähnlichem Leitfaden stellten einen ersten Weg zur Realisierung leitfähiger Polymere dar. Der zweite Weg besteht heute darin, Polyacethylen mit AsF_5 oder Jod zu dotieren. Die Stabilisierung der Eigenschaften bereitet jedoch viel Mühe. Immerhin werden heute schon Anwendungen in der Elektrotechnik, in der Halbleitertechnik sowie in der Elektrochemie diskutiert.

In einem dritten Abschnitt standen Polymerwerkstoffe bei spezieller Beanspruchung zur Sprache. So behandelte *R. Racho* die Strahlenwirkung auf Polymere. Man muß zwischen solchen Polymeren unterscheiden, die vernetzen und solchen, die abgebaut werden. Die Vernetzung wird technisch gern genutzt wie bei PE in der Kabelindustrie. Man gewinnt Festigkeit und Temperaturbeständigkeit.

Mit der Temperaturbeständigkeit ausgewählter Polymere befaßte sich *G. Leps*. Die Fluorpolymere erobern sich immer größere Einsatzgebiete. PTFE wird überwiegend in der Elektrotechnik verwendet. Polymere mit aromatischen Ringstrukturen und mit O- oder S-Atombrücken ergänzen die Angebote. Die Polyimide werden als sehr wichtig eingeschätzt.

Spezielle Themen der Mikroelektronik-Technologie behandelten die folgenden Vorträge. *J. Epperlein* sprach über photoleitende Schichten aus niedermolekularen organischen Verbindungen in Polymermatrizen. Sein Beitrag fand großen Beifall, führte er doch in weniger bekannte Anwendungsgebiete ein. Es ist sehr verständlich, daß solche Arbeiten voll im Fluß sind. (Elektrofotografie, Druckplatten)

Mit Problemen der Kopierlacke setzte sich *H. J. Lorkowsky* auseinander. Der Mikrolithographie ist in der Mikroelektronik eine Schlüsselstellung zuzuerkennen. Die Polymere müssen dann bei Einwirkung von Licht zur Erzeugung von Reliefstrukturen Anwendung finden können. Der Vortragende führte in die entsprechende Gedankenwelt ein und stellte konventionelle und nichtkonventionelle Technologien mit Kopier-Lackmasken sehr einprägsam vor.

In einem letzten Abschnitt führte zunächst *G. Leps* in Polymere mit besonderen Eigenschaften ein. Erzeugnisspezifische Werkstoffentwicklungen führten zu vielfältigen Polymerkombinationen. Meist werden Sonderforderungen auf der Basis temperaturbeständiger Polymere realisiert. Es sei vermerkt, daß für Spezial-Polymerwerkstoffe die Polyamidgrundlage sehr verbreitet und zukunftsträchtig ist.

Die Verwendung von Polymeren bei Kondensatoren diskutierte *Ch. Jakschik*. Er wies überzeugend nach, daß die technologische Vielfalt bei der Herstellung von Kondensatoren sehr unterschiedliche Anforderungen an die Polymere stellt. Die Polymerfolie steht im Mittelpunkt des Interesses. Im Dickenbereich von wenigen µm bis zu einigen 10µm finden sehr unterschiedliche Polymerwerkstoffe Verwendung. Ökonomische Probleme spielen eine erhebliche Rolle, sofern die übrigen elektrotechnischen Eigenschaften den Forderungen entsprechen. Mit den Polymeren für Kondensatoren liegen Musterbeispiele für die Lösung von Optimierungsaufgaben vor.

Den Tagungsteilnehmern konnten Kurzfassungen der Vorträge zur Verfügung gestellt werden. Damit wurde die Diskussion gefördert und der Erfahrungsaustausch intensiviert.

W. Richter, Karl-Marx-Stadt EA 2189

Folgende Themen zur Hochspannungs-Prüftechnik finden Sie im Heft 6/1986

- Berechnung nichtstationärer Vorgänge in Hochspannungsanlagen
- Zur Problematik von Teilentladungen an Teller-Segmentelektroden
- Normalfunkenstrecke zur Prüfung von Teilentladungs-Meßkreisen bei Hochspannung
- Zur Bewertung der Teilentladungsbeständigkeit von Kunststoffisolator-Oberflächen
- Statistische Auswertung mit dem Bürocomputer – Ermittlung und Darstellung empirischer Normalverteilungen
- Berechnung des elektrischen Feldes kugelförmiger Teller-Segmentelektroden
- Messung der Durchschlagspannung an einer 2,7-m-Teller-Segmentkugel gegen Erde unter Freiluftbedingungen
- Vorausberechnung der Durchschlagspannung langer Luftisolierstrecken bei Belastung mit Schaltimpulsspannungen kritischer Stirnzeit
- Nullimpedanzen von Drehstrom-Öl-Transformatoren
- Eine neue Steuerung für Impulsspannungs-Prüfgeneratoren

Die Redaktion

Fortsetzung von Seite 164

Forschungsarbeit und der industriellen Praxis hat sich der Austausch von Studentengruppen zur Absolvierung von Praktika außerordentlich bewährt. In das Austauschpraktikum sind gegenwärtig 7 Studentengruppen von beiden Einrichtungen einbezogen, und es stellt für die beteiligten Studenten eine wesentliche Bereicherung ihrer Ausbildung dar.

In den letzten beiden Fünfjahrplanzeiträumen nahmen mehr als 400 der besten Studenten beider Seiten an dieser Ausbildungsform teil. Beginnend mit 1984 wird zwischen beiden Hochschulen das Teilstudium mit ausgewählten Wissensgebieten entwickelt, das bisher 8 Studenten der Elektrotechnik und des Wasserwesens erfolgreich absolvieren konnten.

Beispiele von Ergebnissen dieser langjährigen Zusammenarbeit sind:

- auf dem Gebiet der Gesellschaftswissenschaften die gemeinsamen Monographien „Arbeiterklasse — Intelligenz — Studenten" (1979), „Die Entwicklung der schöpferischen Aktivität und Selbständigkeit von Studenten technischer Hochschulen" (1980), „Arbeitskollektive, Persönlichkeit und wissenschaftlich-technische Revolution im Sozialismus" (1982) und „Wissenschaftlich-technischer Fortschritt und Arbeit im Sozialismus" (1985).
- auf dem Gebiet der Energieumwandlung die arbeitsteilige Forschungsarbeit zur Entwicklung und Vervollkommnung von Dampf- und Gasturbinen, in die von beiden Seiten die Industrie, wie VEB Bergmann-Borsig Berlin und das Leningrader Metall-Werk einbezogen wurden, wobei neuartige Turbinenschaufeln für Leistungs-Gasturbinen entstanden, die gemeinsam erprobt wurden.
- auf dem Gebiet der Elektrotechnik arbeitsteilige Forschungsarbeiten zur Automatisierung und Entwicklung von Speisequellen für Induktionserwärmungsanlagen, zur Entwicklung von Isolieranordnungen für Hochspannungsprüf- und Meßanlagen und zum rechnergestützten Entwurf von elektrischen Maschinen, deren Ergebnisse von der Industrie beider Seiten, wie dem TuR Dresden, dem VEB Kombinat Elektromaschinenbau, dem VEB Steremat Berlin, dem Elektrosila Leningrad, dem WNIITWC Leningrad, dem WEI Moskau u.a. genutzt werden.

Auf der Grundlage des Komplexprogrammes des wissenschaftlich-technischen Fortschritts der Mitgliedsländer des RGW bis zum Jahre 2000 und der Beschlüsse des XXVII. Parteitages der KPdSU und des XI. Parteitages der SED wird diese Zusammenarbeit im gegenwärtigen Fünfjahrplan weiter ausgebaut und vertieft und wird einen effektiveren Beitrag zur Sicherung des Friedens und zum Wohle unserer brüderlich vereinten Völker leisten.

H. Conrad, Dresden EA 2170

ZEITSCHRIFTEN

Zuverlässigkeit von Umspannwerken; Vergleich zweier Berechnungsmethoden und geeignete Ergebnisdarstellung

Declercq, J. C.; van Miegroet, P.; Röhsler, H.; Schütte, H. G.: electra Nr. 99, März 1985, S. 31—46

Der Schwerpunkt des Beitrages liegt in der Aufbereitung und in der Ergebnisdarstellung von Zuverlässigkeitsberechnungen in einer für den Planungs- und Betriebsingenieur geeigneten Form. Als Ursachen für die dabei gegenwärtig bestehenden Schwierigkeiten werden genannt:

— Es fehlt eine einheitliche Klassifizierung der Ausfälle.

— Es fehlt ein abgestimmtes Vorgehen bei der Interpretation der Ergebnisse.

— Es fehlt eine Anpassung an die Bedürfnisse des Planungs- und Betriebsingenieurs.

Zur Klassifizierung der Ausfälle wird der im Bild 1 dargestellte Vorschlag unterbreitet. Diese Klassifizierung ist unabhängig von den jeweiligen konkreten Bedingungen im Elektroenergiesystem (EES). Dabei wird unter Ausfall eine Versorgungsunterbrechung für einen Abnehmer verstanden. Die Ausfallklassen *1*, *4* und *5* bedürfen keiner näheren Erläuterung. Für die übrigen Ausfall-Klassen gilt folgende inhaltliche Vereinbarung:

Ausfallklasse *2*:

Sind Ausfälle, die durch Umschaltungen nicht beseitigt werden können.

Ausfallklasse *3*:

Sind Ausfälle, die durch Umschaltungen beseitigt werden können, indem bei

3a das fehlerbehaftete Element selektiv herausgeschaltet wird, so daß ohne Fehlersuche die Umschaltung erfolgen kann;

3b das fehlerbehaftete Element nicht selektiv herausgeschaltet wird, so daß erst nach der Fehlersuche die Umschaltung erfolgen kann.

Als Zuverlässigkeitskennziffern zur Quantifizierung der Ausfälle werden verwendet:

$$I = F\ T \qquad (1)$$

I Nichtverfügbarkeit in ha^{-1}
F Ausfallhäufigkeit in a^{-1}
T mittlere Ausfalldauer in h

Die Ermittlung dieser Kennziffern erfolgt in drei Etappen:

1. Erstellung der Ausfall-Liste durch eine Fehlerart- und Effektanalyse (F. M.E.A.).
2. Berechnung der Kennziffern für die einzelnen Ausfall-Klassen innerhalb der bestehenden Versorgungsaufgaben.
3. Berechnung der Kennziffern für eine Gesamtaussage zu den bestehenden Versorgungsaufgaben.

Die *1. Etappe* beinhaltet folgende Schritte:

— Abgrenzung des zu betrachtenden Ausschnitts des EES

— Herausarbeitung der in dem betrachteten Ausschnitt des EES bestehenden Versorgungsaufgaben

— Zuordnung der Fehlerarten der Elemente in dem betrachteten Ausschnitt des EES zu den Ausfall-Klassen und zu den Versorgungsaufgaben.

Der zu betrachtende Ausschnitt des EES ist von der jeweils vorliegenden Fragestellung abhängig. Aus Gründen des Rechenaufwandes sollte er so klein wie nötig gehalten werden. Bei den Fehlerarten der Elemente sind gemäß Bild 1 planmäßige (PVI) und unplanmäßige (eigentliche Fehler) zu unterscheiden. Aus der Sicht der Auswirkungen auf die Versorgungsaufgaben sind darüber hinaus Einfach- und Mehrfachfehler zu berücksichtigen.

Im Ergebnis der 1. Etappe liegen mit der Ausfall-Liste alle wesentlichen inhaltlichen Aussagen in einer für den Planungs- und Betriebsingenieur geeigneten Form vor.

In der *2. Etappe* erfolgt die eigentliche Berechnung der Kennziffern auf der Grundlage der Häufigkeiten und Beseitigungsdauer für die einzelnen Fehlerarten sowie der Umschaltdauer und der Dauer für die Fehlersuche.

In der *3. Etappe* erfolgt eine Zusammenfassung der Kennziffern aus der 2. Etappe für die einzelnen Ausfall-Klassen, zugeordnet zu den bestehenden Versorgungsaufgaben. Damit ist eine Gesamtaussage für die Zuverlässigkeit der jeweiligen Versorgungsaufgabe möglich. Man muß sich jedoch über den Mittelwertcharakter derselben im klaren sein.

Die beschriebene Vorgehensweise wird an einem Beispiel demonstriert. Dazu werden zwei Varianten zur Versorgung zweier MS-Netze (als Abnehmer) aus dem HS-Netz miteinander verglichen. Ausgehend von einer einheitlichen F.M.E.A. werden für die eigentliche Berechnung der Zuverlässigkeitskennziffern zwei unterschiedliche Berechnungsverfahren (im Beitrag durch zwei Literaturstellen ausgewiesen) angewendet. Dabei zeigte sich, daß die erzielten Ergebnisse praktisch identisch sind.

Zusammenfassend werden folgende Schlußfolgerungen gezogen:

— Die F.M.E.A. ist das entscheidende Instrumentarium.

— Das verwendete Berechnungsverfahren zur Quantifizierung der Kennziffern ist zweitrangig.

— Es fehlt z.Z. ein geeignetes Kriterium zur vergleichenden Bewertung der durch die Fehler im EES verursachten unterschiedlichen Schaltzustände.

Eine solche Einschätzung entspricht auch der Position der Autoren dieser Kurzinformation, die in den folgenden Arbeiten [1] und [2] dokumentiert ist.

H. Kindler, Zittau; K.-H. Friebel, Berlin

EA 2139

Literatur

[1] *Kindler, H.:* Einfluß der Grundschaltung von Hochspannungsschaltanlagen auf die Versorgungszuverlässigkeit. 25. IWK der TH Ilmenau 1980, Heft 1, Vortragsreihe A1, S. 49—52

[2] *Kindler, H.;* u.a.: Wechselwirkung zwischen dem Netzschaltzustand und der Grundschaltung von Hochspannungsschaltanlagen. das verbundnetz, Berlin 21 (1986) 42, S. 1039—1045

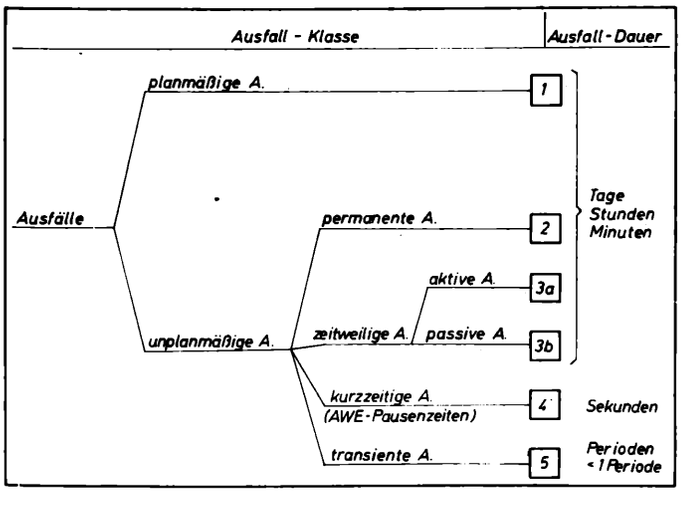


Bild 1. Klassifizierung der Ausfälle

Technische Charakteristiken neuer Wärme- und Kernkraftwerksblöcke in den USA

Krikunčik, A. B.: Energochosjaistvo sa rubeshom 1985, H. 5, S. 43—44

Die Zeitschrift Electrical World (USA) veröffentlicht alle zwei Jahre einen Überblick über Kraftwerke in den USA. Der 23. Überblick vom November 1983 berücksichtigt 44 in Betrieb befindliche Blöcke (davon 7 Kernkraftwerksblöcke) einer Blockleistung zwischen 203 und 1330 MW. Beim Vergleich mit den vorhergehenden Übersichten zeichnet sich eindeutig die Tendenz von den Erdöl- und Erdgas- zu den Kohle- und Kernkraftwerksblöcken ab. Die Brennstoffpreise verringerten sich seit 1981 im Mittel um 6 %.

Der faktische spezifische Brennstoffverbrauch stellt sich im allgemeinen 8 bis 10 % über den in den Kraftwerksprojekten garantierten ein. Der Eigenbedarf der Kernkraftwerke bezogen auf die Bruttoenergieerzeugung beläuft sich auf 4,55 bis 6,43 % und der Kohlekraftwerke auf 4,6 bis 16,1 %. Abgesehen von einigen wenigen Extremwerten pegelt sich der Eigenbedarf von den Kohlekraftwerken in der Größenordnung von 6 bis 10 % ein. Der Eigenbedarf des einzigen aufgeführten Heizölkraftwerkes liegt bei 5,12 %.

E. Broßmann, Berlin

EA 2130

DISSERTATIONEN

Ben Barka, Saad

Mikrorechnergesteuerte Prüfung von Gleichstrommaschinen

Dissertation A, TU Dresden 1985
Gutachter:
Prof. Dr. sc. techn. *E. Paulig*
Doz. Dr.-Ing. *B. Herzig*
Dr.-Ing. *R. Klaus*

Die Automatisierung der Fertigungsprozeßstufen als Element durchgängiger CAD/CAM-Lösungen ist Ausgangspunkt für das Projekt eines Prüfstandes, der die automatisierte Durchführung der Typprüfung von Gleichstrommaschinen gestattet. Hardware- und Softwarelösungen, die den Anforderungen an die automatisierte Prozeßführung, Meßwerterfassung und Auswertung entsprechen, wurden in einer Pilotanlage realisiert. Mit der Entwicklung und dem Einsatz eines schnellen autonomen buskompatiblen Meßwerterfassungsystems wurden Voraussetzungen für die Anwendung neuartiger Prüftechnologien in der Endprüfung von Gleichstrommaschinen auf der Grundlage der Bewertung dynamischer Prozeßabläufe geschaffen und erste Lösungsansätze erprobt. Das erarbeitete Softwarekonzept entspricht einerseits mit einem assemblerorientierten Programmpaket zur Beschreibung von Prozeßschritten den Bedingungen des Echtzeitbetriebes und orientiert andererseits auf einen notwendigen Bedienerkomfort durch Anwendung höherorientierter Sprachen bei der Umsetzung der Prüftechnologie in einem Leitprogramm des Prozeßablaufes.

K. Vogt, Dresden EA 2121

Kuß, Hans

Anwendung numerischer Methoden zur Lösung nichtlinearer Magnetfeldprobleme in elektrischen Maschinen

Dissertation B, TU Dresden 1985
Gutachter:
Prof. Dr. sc. techn. *K. Vogt*
Prof. Dr. sc. techn. *E. Koziej* (PH Warszawa)
Dr.-Ing. *G. Lemberg*

Anliegen der Dissertation ist der Zuschnitt moderner Methoden der Berechnung elektromagnetischer Felder auf Feldprobleme rotierender elektrischer Maschinen, was wegen deren komplizierten Konfigurationen und der extremen Nichtlinearitäten enorme Schwierigkeiten und außerordentlich große Rechenzeiten verursacht. Untersucht werden die Methode der finiten Differenzen und die der finiten Elemente im Hinblick auf Vor- und Nachteile für mögliche Einsatzgebiete. Das Resultat sind universell anwendbare Programmpakete mit problemorientierter Auswahl der Methode und Lösungsvariante, optimaler Diskretisierung der Feldkonfiguration, vermittels optimaler Relaxationsfaktoren, gesteuerter Iteration sowie gesteuerten Genauigkeitsschranken, was einerseits die Berechnung komplizierter Feldprobleme ermöglicht und andererseits zu erheblichen Einsparungen an Rechenzeiten führt. Für den Anwender erfolgt die Angabe eines zweckmäßigen Bearbeitungsganges. Bei der Koppelung des Ständer- und Läufergitternetzes über ein variables Zwischengitter lassen sich die relative Läuferstellung berücksichtigen und genauere Untersuchungen des Luftspaltfeldes durchführen. Die erzielbaren Ergebnisse sind in Form von Näherungsbeziehungen, Diagrammen und Tabellen in den Entwurfsprozeß optimierter elektrischer Maschinen einordenbar.

K. Vogt, Dresden EA 2124

Schubert, Peter

Zur Genese von Theorie und Berechnung elektromagnetischer Energiewandler als Leitdisziplin bei der Herausbildung der Elektrotechnik als technikwissenschaftliche Disziplin

Dissertation B, TU Dresden 1985
Gutachter:
Prof. Dr. rer. oec. et phil. habil. *R. Sonnemann*
Prof. Dr. rer. oec. et phil. habil. *S. Richter*
Prof. Dr. sc. techn. *K. Vogt*
Prof. Dr. sc. techn. *P.-K. Budig*

Es wird anschaulich gezeigt, wie sich die Entwicklung der Elektrotechnik im Wechselspiel der naturwissenschaftlich-technischen Voraussetzungen und der durch die jeweilige Gesellschaftsordnung gegebenen Möglichkeiten einerseits und der dem Entwicklungsstand von Technik und Gesellschaft entsprechenden Bedürfnisse als Triebkraft andererseits vollzogen hat. Dabei ist der Entwicklungsstand der Elektrotechnik zunächst identisch dem Stand der Entwicklung elektromagnetischer Energiewandler bzw. elektrischer Maschinen. Später ist die elektrische Maschine zumindest noch ihre wesentlichste Voraussetzung. In diesem Sinn wird der Prozeß der Verwissenschaftlichung der Elektrotechnik am Beispiel der Entwicklung der Theorie, des Entwurfs und der Berechnung der elektrischen Maschine dargestellt. Dabei lassen sich drei charakteristische Phasen der klassischen Entwicklung der Elektrotechnik erkennen: die Vorbereitungsphase bis 1880, in der sich eine empirische Entwicklung elektrischer Maschinen ausreichender Leistung vollzieht; die Phase der Herausbildung bis 1910, in der bereits technikwissenschaftliche Erkenntnisse und Schlußfolgerungen an Bedeutung gewinnen, und die Phase der Konsolidierung, die sich etwa bis zu den 50er Jahren unseres Jahrhunderts erstreckt und die die Zeit der klassischen Lösung der nunmehr komplex angegangenen Probleme umfaßt.

K. Vogt, Dresden EA 2123

Fiedler, Michael

Auslegung und Berechnung dauermagneterregter Stromrichtermotoren

Dissertation A, TU Dresden 1985
Gutachter:
Doz. Dr. sc. techn. *W. Kunze*
Prof. Dr. sc. techn. *J. Vogel*
Dr.-Ing. *H. Halle*

Stromrichtermotoren sind für drehzahlveränderliche Drehstromantriebe vor allem wegen des geringeren Ventilaufwands im Vergleich mit drehzahlstellbaren Asynchronmaschinen interessant und haben ihre Überlegenheit bei hohen Leistungen bewiesen. Ziel der Arbeit ist, die im unteren Leistungsbereich und vor allem für dauermagneterregte Maschinen hinsichtlich konstruktiver Läufergestaltung, Entwurf, Berechnung und Betriebsverhalten offenen Probleme zu untersuchen.
Aufbauend auf vorausgegangenen Arbeiten werden erzielbare Flußkonzentration verschiedenartiger Dauermagnetsysteme abgeschätzt und Rechenprogramme für das stationäre Betriebsverhalten, für Verlust- und Erwärmungsberechnung aufgestellt, wobei vorhandene Programmteile durch Einbeziehung exakterer Parameter ergänzt werden. Mit diesen Programmsystemen kann der Einfluß der Kommutierungsreaktanz, des Dämpferkäfigs, der Welligkeit und der Qualität des Stromrichters aufgezeigt werden. Abgeleitet werden weiterhin Hinweise zur Dimensionierung und Konstruktion dauermagneterregter Läufer, die über Stromrichtermotoren hinaus gültig sind, und zur Wahl von Polpaarzahl, Frequenz, Magnetkreisabmessungen, Blechqualität sowie zur Wicklungsauslegung von Stromrichtermotoren.

W. Kunze, Dresden EA 2122

Beckert, Ulrich

Beitrag zur mathematischen Modellierung und zur digitalen Simulation von Drehstromasynchronmotoren mit Hochstabläufer im dynamischen Betrieb

Dissertation A, Bergakademie Freiberg, 1985
Gutachter:
Prof. Dr.-Ing. habil. *W. Stock*
Doz. Dr. sc. techn. *E. Seefried*
Prof. Dr. sc. techn. *K. Vogt*
Prof. Dr.-Ing. habil. *G. Müller*

Käfigläuferasynchronmotoren großer Leistung werden meistens als Hochstabläufer ausgeführt. In der vorliegenden Arbeit wird ihr Verhalten im dynamischen Betrieb mittels digitaler Simulation analysiert und das dazu erforderliche mathematische Modell und Simulationsprogramm entwickelt: Das entwickelte mathematische Modell des Hochstabläufermotors berücksichtigt alle wichtigen physikalischen Effekte, wie die Stromverdrängung in den Läuferstäben, die dadurch bedingte ungleiche Erwärmung der Läuferstäbe, die Abhängigkeit der magnetischen Streufeldsättigung von den Strömen in der Ständer- und Läuferwicklung, die Einflüsse unsymmetrischer Netzspannungen sowie die Eigenschaften des angekuppelten mechanischen Systems. Der zeitlich beliebige Verlauf der Ständer- und Läuferströme, von dem im dynamischen Betrieb auszugehen ist, wird dabei nicht eingeschränkt. Mit diesem mathematischen Modell werden anschließend die dynamischen Strom- und Drehmomentbeanspruchungen sowie die Temperaturverteilungen in den Läuferstäben beim Anlauf und beim Wiedereinschalten mit Restfluß (Netzumschalten) digital simuliert.

U. Beckert, Freiberg EA 2190

BUCHER

Störgrößenanalyse

Von *G. Lorenz*, Berlin: VEB Verlag Technik 1985. 1. Auflage. 152 Seiten, 61 Bilder, 21 Tafeln. Kunstleder 15.50 Mark.
Bestell-Nr. 553472 7

Gegenstand des Buches ist die Analyse determinierter und stochastischer Störgrößen in kontinuierlichen technologischen Prozessen aus der Sicht der Automatisierungstechnik. Nach einführender Begriffsbestimmung und Klassifizierung möglicher Störgrößen wird in drei Hauptabschnitten untersucht

- Aufgaben der Störgrößenanalyse beim Strukturentwurf der automatisierten Prozeßsteuerung
- Ermittlung und Interpretation von Störsignalkennfunktionen
- Datenerfassung und Datenaufbereitung.

Grundlage bildet die Theorie stochastischer Signale und ihrer Übertragung durch kontinuierliche und diskontinuierliche Filter. Jedoch bleiben theoretische Erörterungen auf das notwendige Maß beschränkt, die Ergebnisse werden aus der Sicht ihrer praktischen Nutzbarkeit interpretiert.
Das Buch führt systematisch in den sehr aktuellen Problemkreis der Analyse stochastischer Signale ein und führt den Leser bis zu praktischen Schlußfolgerungen bezüglich Struktur und Optimierung der Automatisierungsanlage und bezüglich Prozeßdatenerfassung und -verarbeitung mit Rechnern.
Fachleute der Automatisierungstechnik und entsprechend spezialisierte Studenten werden das Buch mit Nutzen studieren und Ansätze zur Lösung ihrer eigenen Probleme finden.

R. Schönfeld, Dresden EA 2186

Begriffswelt der Feldtheorie

Von *A. J. Schwab*. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer Verlag. 1. Auflage 1985. 144 Seiten, 32 Bilder

Der Autor meint, mit dem Buch einen „Crash-Kurs Elektromagnetische Felder" vorzulegen und als „unkonventionelle Einführung meist da aufzuhören, wo anspruchsvolle Werke über Feldtheorie oder Elektrodynamik beginnen".
Behandelt werden die Maxwellschen Gleichungen in Integral- und Differentialform und deren Verknüpfung mit den Integralsätzen von *Stokes* und *Gauß*. Anschließend werden Potential und Potentialfunktion elektro- und magnetostatischer Felder erläutert. Im Abschnitt über die Einteilung der Felder werden die Betrachtungen bis zur Wellengleichung und zu retardierten Potentialen erweitert. Ausführlich wird die Telegrafengleichung vorgestellt. Darauf aufbauend wird auf Zusammenhänge zwischen dieser Gleichung und der Wellengleichung sowie der Wärmeleitungsgleichung hingewiesen.
Wie gelingt es dem Autor, diese Stoffülle auf nur 144 (locker und übersichtlich bedruckten) Seiten zusammenzudrängen? Zunächst fällt der flüssig plaudernde, anschauliche Text zwischen den Gleichungen auf, mit dem der Leser oft beruhigt wird, daß alles gar nicht so schwierig sei, wie es ausschaut. Dann merkt man aber, daß vieles fehlt. Könnte man noch akzeptieren, daß alle notwendige Mathematik als bekannt vorausgesetzt wird, die fehlenden Ansätze für geschlossene oder numerische Lösungen bzw. fehlende Beispiele oder Übungsaufgaben sind eine Lücke, die den Nutzerkreis einschränkt. Studenten werden deshalb — im Gegensatz zu den Vorstellungen des Autors — wohl kaum mit dem Buch in die „Begriffswelt der Feldtheorie" so eindringen können, daß sie schöpferisch technisch relevante Probleme lösen können. Der erfahrene Spezialist auf diesem Gebiet wird dieses Buch aber mit Gewinn lesen, weil er auf Querverbindungen hingewiesen wird, die ihm u. U. bisher entgangen sind.

H. Böhme, Dresden EA 2166

Jahrbuch Elektrotechnik '86

Von *A. Grütz*. Westberlin/Offenbach: VDE-Verlag GmbH. 632 Seiten, 82 Bilder, 147 Tafeln

Dieser Band '86 (1985) des VDE-Verlages besitzt die gleiche Struktur wie seine Vorgängerausgaben 1982 bis 1985 und weist auf weitere Neuerungen in der Technik auf ausgewählten Gebieten der Elektrotechnik sowie deren Entwicklungstendenzen hin.
Im Fachgebietsteil werden in einzelnen lose zusammengefügten technischen Beiträgen namhafter Autoren der BRD für Techniker und Ingenieure über folgende Themenbereiche informiert:

- Technik und Wirtschaft in der BRD
- Prozeßsteuerung
- Nutzung der Telekommunikation
- Mikroelektronik
- Elektrotechnik, Sicherheit und Standardisierung.

Im Bereich der Prozeßsteuerung werden die Grundlagen, Prinzipien, Aufgaben und Anforderungen von Busübertragungen in Industrieleitsystemen sowie moderne Automatisierungskonzepte für Prozeßleitsysteme in Kraftwerken mit dezentraler Struktur in den prozeßnahen Ebenen und mit hierarchischer Struktur des Gesamtleitsystems an praktischen Einsatzbeispielen beschrieben. Für speicherprogrammierbare Steuerungen werden Trendangaben für die möglichen Anwendungsbereiche in der industriellen Automatisierung untersucht sowie Probleme der Anwendung einheitlicher Programmiersprachen und Bussysteme erläutert.
Der Bereich Nutzung der Telekommunikation enthält Angaben zum Stand der Technik und Zukunftsaspekte für die Bedienführung multifunktionaler Endgeräte der Telekommunikationstechnik und die Möglichkeiten der erweiterten Anwendung von Bildschirmen für den Bildschirmtextdienst. Desgleichen ist der neue CEPT-Videotext-Standard T/CD 06-01 der europäischen Konferenz der Post- und Fernmelde-Verwaltungen beschrieben. Diese Vorschrift enthält Angaben über die modulare Struktur, einheitliche Videotext-Verfahren und Leistungsmerkmale (Formate, Zeichenvorrat, anwendbare Zeichen, Farben und Funktionen) von offenen Datenkommunikationssystemen für Videotext.
Bei der Mikroelektronik sind dagegen ausführlich die neuen Gebiete

- spezielle VVLSI-Technologie als VHSIC-Programm (Very-High-Speed-Integrated Circuit) mit hohen Signalverarbeitungsgeschwindigkeiten auf Chips mit einer Durchsatzrate von 10^{13} Hz/cm² je Gatter
- Anwendung von III/V-Halbleitern mit GaAs-Kristallen (Gallium-Arsenid) für Laser und Optoelektronik der Nachrichtentechnik
- Aufgaben und CAEE-Hilfsmittel für die Entwicklung hochintegrierter Schaltungen
- Sensoren gekoppelt mit Mikroprozessoren und Möglichkeiten der Vorverarbeitung sowie Schnittstellenaufbau

beschrieben.
Der zweite Teil des VDE-Buches, der Bereich Elektrotechnik, Sicherheit und Standardisierung sowie das aktualisierte BRD-Normennachschlagewerk, informiert über

- aktuellen Stand der VDE-0100 — Errichtungsbestimmungen für elektrotechnische Anlagen bis 1000 V
- erdfrei betriebene Wechselspannungsnetze und mögliche Netzformen (TN, TT, IT-Netze)
- Kennzeichnung und Anordnung elektrischer Betriebsmittel
- Grafische Symbole der Elektrotechnik
- Ermittlung von Leiterquerschnitten, Leitungslängen und Schutzeinrichtungen für Kabel und Leitungen

H. Kloust, Berlin EA 2156

Industrierobotersteuerungen

Herausgegeben von *W. Schwarz, M. Zecha* und *G. Meyer*. Berlin: VEB Verlag Technik 1985. 1. Auflage. 344 Seiten, 254 Bilder, 22 Tafeln. Ganzleinen, 35,— Mark.
Bestell-Nr. 553351 3

Industrieroboter als universell einsetzbare technologische Automatisierungsmittel und notwendige Bestandteile flexibler bedienarmer Fertigungssysteme sind komplexe mechanisch-elektrisch-elektronische Gebilde und das Gebiet der Robotertechnik demzufolge interdisziplinärer Treffpunkt zahlreicher Fachrichtungen, wie Maschinenbau, Meßtechnik, Antriebstechnik sowie Informationsverarbeitung und Rechentechnik. Gegenstand des vorliegenden Buches ist das Teilgebiet der Robotersteuerungen.
Behandelt werden nach einer kurzen Einführung in die Problematik zunächst die entsprechenden Steuerungsgrundprinzipien, d. h., es werden die Grundfunktionen und die Grundstruktur einer Industrieroboter-steuerung erläutert, eine Klassifizierung der Steuerungssysteme nach dem technologischen Bewegungsablauf (Punkt- und Bahnsteuerungen) vorgenommen und das Prinzip einer Robotersteuerung auf Mikrorechnerbasis beschrieben. Im anschließenden 3. Abschnitt werden ausführlich das kinematische System eines Industrierobo-

DISSERTATIONEN

Ben Barka, Saad

Mikrorechnergesteuerte Prüfung von Gleichstrommaschinen

Dissertation A, TU Dresden 1985
Gutachter:
Prof. Dr. sc. techn. *E. Paulig*
Doz. Dr.-Ing. *B. Herzig*
Dr.-Ing. *R. Klaus*

Die Automatisierung der Fertigungsprozeßstufen als Element durchgängiger CAD/CAM-Lösungen ist Ausgangspunkt für das Projekt eines Prüfstandes, der die automatisierte Durchführung der Typprüfung von Gleichstrommaschinen gestattet. Hardware- und Softwarelösungen, die den Anforderungen an die automatisierte Prozeßführung, Meßwerterfassung und Auswertung entsprechen, wurden in einer Pilotanlage realisiert. Mit der Entwicklung und dem Einsatz eines schnellen autonomen buskompatiblen Meßwerterfassungsystems wurden Voraussetzungen für die Anwendung neuartiger Prüftechnologien in der Endprüfung von Gleichstrommaschinen auf der Grundlage der Bewertung dynamischer Prozeßabläufe geschaffen und erste Lösungsansätze erprobt. Das erarbeitete Softwarekonzept entspricht einerseits mit einem assemblerorientierten Programmpaket zur Beschreibung von Prozeßschritten den Bedingungen des Echtzeitbetriebes und orientiert andererseits auf einen notwendigen Bedienerkomfort durch Anwendung höherorientierter Sprachen bei der Umsetzung der Prüftechnologie in einem Leitprogramm des Prozeßablaufes.

K. Vogt, Dresden EA 2121

Kuß, Hans

Anwendung numerischer Methoden zur Lösung nichtlinearer Magnetfeldprobleme in elektrischen Maschinen

Dissertation B, TU Dresden 1985
Gutachter:
Prof. Dr. sc. techn. *K. Vogt*
Prof. Dr. sc. techn. *E. Koziej* (PH Warszawa)
Dr.-Ing. *G. Lemberg*

Anliegen der Dissertation ist der Zuschnitt moderner Methoden der Berechnung elektromagnetischer Felder auf Feldprobleme rotierender elektrischer Maschinen, was wegen deren komplizierten Konfigurationen und der extremen Nichtlinearitäten enorme Schwierigkeiten und außerordentlich große Rechenzeiten verursacht. Untersucht werden die Methode der finiten Differenzen und die der finiten Elemente im Hinblick auf Vor- und Nachteile für mögliche Einsatzgebiete. Das Resultat sind universell anwendbare Programmpakete mit problemorientierter Auswahl der Methode und Lösungsvariante, optimaler Diskretisierung der Feldkonfiguration, vermittels optimaler Relaxationsfaktoren, gesteuerter Iteration sowie gesteuerten Genauigkeitsschranken, was einerseits die Berechnung komplizierter Feldprobleme ermöglicht und andererseits zu erheblichen Einsparungen an Rechenzeiten führt. Für den Anwender erfolgt die Angabe eines zweckmäßigen Bearbeitungsganges. Bei der Koppelung des Ständer- und Läufergitternetzes über ein variables Zwischengitter lassen sich die relative Läuferstellung berücksichtigen und genauere Untersuchungen des Luftspaltfeldes durchführen. Die erzielbaren Ergebnisse sind in Form von Näherungsbeziehungen, Diagrammen und Tabellen in den Entwurfsprozeß optimierter elektrischer Maschinen einordenbar.

K. Vogt, Dresden EA 2124

Schubert, Peter

Zur Genese von Theorie und Berechnung elektromagnetischer Energiewandler als Leitdisziplin bei der Herausbildung der Elektrotechnik als technikwissenschaftliche Disziplin

Dissertation B, TU Dresden 1985
Gutachter:
Prof. Dr. rer. oec. et phil. habil. *R. Sonnemann*
Prof. Dr. rer. oec. et phil. habil. *S. Richter*
Prof. Dr. sc. techn. *K. Vogt*
Prof. Dr. sc. techn. *P.-K. Budig*

Es wird anschaulich gezeigt, wie sich die Entwicklung der Elektrotechnik im Wechselspiel der naturwissenschaftlich-technischen Voraussetzungen und der durch die jeweilige Gesellschaftsordnung gegebenen Möglichkeiten einerseits und der dem Entwicklungsstand von Technik und Gesellschaft entsprechenden Bedürfnisse als Triebkraft andererseits vollzogen hat. Dabei ist der Entwicklungsstand der Elektrotechnik zunächst identisch dem Stand der Entwicklung elektromagnetischer Energiewandler bzw. elektrischer Maschinen. Später ist die elektrische Maschine zumindest noch ihre wesentlichste Voraussetzung. In diesem Sinn wird der Prozeß der Verwissenschaftlichung der Elektrotechnik am Beispiel der Entwicklung der Theorie, des Entwurfs und der Berechnung der elektrischen Maschine dargestellt. Dabei lassen sich drei charakteristische Phasen der klassischen Entwicklung der Elektrotechnik erkennen: die Vorbereitungsphase bis 1880, in der sich eine empirische Entwicklung elektrischer Maschinen ausreichender Leistung vollzieht; die Phase der Herausbildung bis 1910, in der bereits technikwissenschaftliche Erkenntnisse und Schlußfolgerungen an Bedeutung gewinnen, und die Phase der Konsolidierung, die sich etwa bis zu den 50er Jahren unseres Jahrhunderts erstreckt und die die Zeit der klassischen Lösung der nunmehr komplex angegangenen Probleme umfaßt.

K. Vogt, Dresden EA 2123

Fiedler, Michael

Auslegung und Berechnung dauermagneterregter Stromrichtermotoren

Dissertation A, TU Dresden 1985
Gutachter:
Doz. Dr. sc. techn. *W. Kunze*
Prof. Dr. sc. techn. *J. Vogel*
Dr.-Ing. *H. Halle*

Stromrichtermotoren sind für drehzahlveränderliche Drehstromantriebe vor allem wegen des geringeren Ventilaufwands im Vergleich mit drehzahlstellbaren Asynchronmaschinen interessant und haben ihre Überlegenheit bei hohen Leistungen bewiesen. Ziel der Arbeit ist, die im unteren Leistungsbereich und vor allem für dauermagneterregte Maschinen hinsichtlich konstruktiver Läufergestaltung, Entwurf, Berechnung und Betriebsverhalten offenen Probleme zu untersuchen.
Aufbauend auf vorausgegangenen Arbeiten werden erzielbare Flußkonzentration verschiedenartiger Dauermagnetsysteme abgeschätzt und Rechenprogramme für das stationäre Betriebsverhalten, für Verlust- und Erwärmungsberechnung aufgestellt, wobei vorhandene Programmteile durch Einbeziehung exakterer Parameter ergänzt werden. Mit diesen Programmsystemen kann der Einfluß der Kommutierungsreaktanz, des Dämpferkäfigs, der Welligkeit und der Qualität des Stromrichters aufgezeigt werden. Abgeleitet werden weiterhin Hinweise zur Dimensionierung und Konstruktion dauermagneterregter Läufer, die über Stromrichtermotoren hinaus gültig sind, und zur Wahl von Polpaarzahl, Frequenz, Magnetkreisabmessungen, Blechqualität sowie zur Wicklungsauslegung von Stromrichtermotoren.

W. Kunze, Dresden EA 2122

Beckert, Ulrich

Beitrag zur mathematischen Modellierung und zur digitalen Simulation von Drehstromasynchronmotoren mit Hochstabläufer im dynamischen Betrieb

Dissertation A, Bergakademie Freiberg, 1985
Gutachter:
Prof. Dr.-Ing. habil. *W. Stock*
Doz. Dr. sc. techn. *E. Seefried*
Prof. Dr. sc. techn. *K. Vogt*
Prof. Dr.-Ing. habil. *G. Müller*

Käfigläuferasynchronmotoren großer Leistung werden meistens als Hochstabläufer ausgeführt. In der vorliegenden Arbeit wird ihr Verhalten im dynamischen Betrieb mittels digitaler Simulation analysiert und das dazu erforderliche mathematische Modell und Simulationsprogramm entwickelt: Das entwickelte mathematische Modell des Hochstabläufermotors berücksichtigt alle wichtigen physikalischen Effekte, wie die Stromverdrängung in den Läuferstäben, die dadurch bedingte ungleiche Erwärmung der Läuferstäbe, die Abhängigkeit der magnetischen Streufeldsättigung von den Strömen in der Ständer- und Läuferwicklung, die Einflüsse unsymmetrischer Netzspannungen sowie die Eigenschaften des angekuppelten mechanischen Systems. Der zeitlich beliebige Verlauf der Ständer- und Läuferströme, von dem im dynamischen Betrieb auszugehen ist, wird dabei nicht eingeschränkt. Mit diesem mathematischen Modell werden anschließend die dynamischen Strom- und Drehmomentbeanspruchungen sowie die Temperaturverteilungen in den Läuferstäben beim Anlauf und beim Wiedereinschalten mit Restfluß (Netzumschalten) digital simuliert.

U. Beckert, Freiberg EA 2190

BUCHER

Störgrößenanalyse

Von *G. Lorenz*, Berlin: VEB Verlag Technik 1985. 1. Auflage. 152 Seiten, 61 Bilder, 21 Tafeln. Kunstleder 15.50 Mark.
Bestell-Nr. 553 472 7

Gegenstand des Buches ist die Analyse determinierter und stochastischer Störgrößen in kontinuierlichen technologischen Prozessen aus der Sicht der Automatisierungstechnik. Nach einführender Begriffsbestimmung und Klassifizierung möglicher Störgrößen wird in drei Hauptabschnitten untersucht

— Aufgaben der Störgrößenanalyse beim Strukturentwurf der automatisierten Prozeßsteuerung
— Ermittlung und Interpretation von Störsignalkennfunktionen
— Datenerfassung und Datenaufbereitung.

Grundlage bildet die Theorie stochastischer Signale und ihrer Übertragung durch kontinuierliche und diskontinuierliche Filter. Jedoch bleiben theoretische Erörterungen auf das notwendige Maß beschränkt, die Ergebnisse werden aus der Sicht ihrer praktischen Nutzbarkeit interpretiert.
Das Buch führt systematisch in den sehr aktuellen Problemkreis der Analyse stochastischer Signale ein und führt den Leser bis zu praktischen Schlußfolgerungen bezüglich Struktur und Optimierung der Automatisierungsanlage und bezüglich Prozeßdatenerfassung und -verarbeitung mit Rechnern.
Fachleute der Automatisierungstechnik und entsprechend spezialisierte Studenten werden das Buch mit Nutzen studieren und Ansätze zur Lösung ihrer eigenen Probleme finden.

R. Schönfeld, Dresden EA 2186

Begriffswelt der Feldtheorie

Von *A. J. Schwab*. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer Verlag. 1. Auflage 1985. 144 Seiten, 32 Bilder

Der Autor meint, mit dem Buch einen „Crash-Kurs Elektromagnetische Felder" vorzulegen und als „unkonventionelle Einführung meist da aufzuhören, wo anspruchsvolle Werke über Feldtheorie oder Elektrodynamik beginnen".
Behandelt werden die Maxwellschen Gleichungen in Integral- und Differentialform und deren Verknüpfung mit den Integralsätzen von *Stokes* und *Gauß*. Anschließend werden Potential und Potentialfunktion elektro- und magnetostatischer Felder erläutert. Im Abschnitt über die Einteilung der Felder werden die Betrachtungen bis zur Wellengleichung und zu retardierten Potentialen erweitert. Ausführlich wird die Telegrafengleichung vorgestellt. Darauf aufbauend wird auf Zusammenhänge zwischen dieser Gleichung und der Wellengleichung sowie der Wärmeleitungsgleichung hingewiesen.
Wie gelingt es dem Autor, diese Stoffülle auf nur 144 (locker und übersichtlich bedruckten) Seiten zusammenzudrängen? Zunächst fällt der flüssig plaudernde, anschauliche Text zwischen den Gleichungen auf, mit dem der Leser oft beruhigt wird, daß alles gar nicht so schwierig sei, wie es ausschaut. Dann merkt man aber, daß vieles fehlt. Könnte man noch akzeptieren, daß alle notwendige Mathematik als bekannt vorausgesetzt wird, die fehlenden Ansätze für geschlossene oder numerische Lösungen bzw. fehlende Beispiele oder Übungsaufgaben sind eine Lücke, die den Nutzerkreis einschränkt. Studenten werden deshalb — im Gegensatz zu den Vorstellungen des Autors — wohl kaum mit dem Buch in die „Begriffswelt der Feldtheorie" so eindringen können, daß sie schöpferisch technisch relevante Probleme lösen können. Der erfahrene Spezialist auf diesem Gebiet wird dieses Buch aber mit Gewinn lesen, weil er auf Querverbindungen hingewiesen wird, die ihm u. U. bisher entgangen sind.

H. Böhme, Dresden EA 2166

Jahrbuch Elektrotechnik '86

Von *A. Grütz*. Westberlin/Offenbach: VDE-Verlag GmbH. 632 Seiten, 82 Bilder, 147 Tafeln

Dieser Band '86 (1985) des VDE-Verlages besitzt die gleiche Struktur wie seine Vorgängerausgaben 1982 bis 1985 und weist auf weitere Neuerungen in der Technik auf ausgewählten Gebieten der Elektrotechnik sowie deren Entwicklungstendenzen hin. Im Fachgebietsteil werden in einzelnen lose zusammengefügten technischen Beiträgen namhafter Autoren der BRD für Techniker und Ingenieure über folgende Themenbereiche informiert:

— Technik und Wirtschaft in der BRD
— Prozeßsteuerung
— Nutzung der Telekommunikation
— Mikroelektronik
— Elektrotechnik, Sicherheit und Standardisierung.

Im Bereich der Prozeßsteuerung werden die Grundlagen, Prinzipien, Aufgaben und Anforderungen von Busübertragungen in Industrieleitsystemen sowie moderne Automatisierungskonzepte für Prozeßleitsysteme in Kraftwerken mit dezentraler Struktur in den prozeßnahen Ebenen und mit hierarchischer Struktur des Gesamtleitsystems an praktischen Einsatzbeispielen beschrieben. Für speicherprogrammierbare Steuerungen werden Trendangaben für die möglichen Anwendungsbereiche in der industriellen Automatisierung untersucht sowie Probleme der Anwendung einheitlicher Programmiersprachen und Bussysteme erläutert.
Der Bereich Nutzung der Telekommunikation enthält Angaben zum Stand der Technik und Zukunftsaspekte für die Bedienführung multifunktionaler Endgeräte der Telekommunikationstechnik und die Möglichkeiten der erweiterten Anwendung von Bildschirmen für den Bildschirmtextdienst. Desgleichen ist der neue CEPT-Videotext-Standard T/CD 06-01 der europäischen Konferenz der Post- und Fernmelde-Verwaltungen beschrieben. Diese Vorschrift enthält Angaben über die modulare Struktur, einheitliche Videotext-Verfahren und Leistungsmerkmale (Formate, Zeichenvorrat, anwendbare Zeichen, Farben und Funktionen) von offenen Datenkommunikationssystemen für Videotext.
Bei der Mikroelektronik sind dagegen ausführlich die neuen Gebiete

— spezielle VVLSI-Technologie als VHSIC-Programm (Very-High-Speed-Integrated Circuit) mit hohen Signalverarbeitungsgeschwindigkeiten auf Chips mit einer Durchsatzrate von 10^{13} Hz/cm² je Gatter
— Anwendung von III/V-Halbleitern mit GaAs-Kristallen (Gallium-Arsenid) für Laser und Optoelektronik der Nachrichtentechnik
— Aufgaben und CAEE-Hilfsmittel für die Entwicklung hochintegrierter Schaltungen
— Sensoren gekoppelt mit Mikroprozessoren und Möglichkeiten der Vorverarbeitung sowie Schnittstellenaufbau

beschrieben.
Der zweite Teil des VDE-Buches, der Bereich Elektrotechnik, Sicherheit und Standardisierung sowie das aktualisierte BRD-Normennachschlagewerk, informiert über

— aktuellen Stand der VDE-0100 — Errichtungsbestimmungen für elektrotechnische Anlagen bis 1000 V
— erdfrei betriebene Wechselspannungsnetze und mögliche Netzformen (TN, TT, IT-Netze)
— Kennzeichnung und Anordnung elektrischer Betriebsmittel
— Grafische Symbole der Elektrotechnik
— Ermittlung von Leiterquerschnitten, Leitungslängen und Schutzeinrichtungen für Kabel und Leitungen

H. Kloust, Berlin EA 2156

Industrierobotersteuerungen

Herausgegeben von *W. Schwarz, M. Zecha* und *G. Meyer*. Berlin: VEB Verlag Technik 1985. 1. Auflage. 344 Seiten, 254 Bilder, 22 Tafeln. Ganzleinen, 35,— Mark.
Bestell-Nr. 553 351 3

Industrieroboter als universell einsetzbare technologische Automatisierungsmittel und notwendige Bestandteile flexibler bedienarmer Fertigungssysteme sind komplexe mechanisch-elektrisch-elektronische Gebilde und das Gebiet der Robotertechnik demzufolge interdisziplinärer Treffpunkt zahlreicher Fachrichtungen, wie Maschinenbau, Meßtechnik, Antriebstechnik sowie Informationsverarbeitung und Rechentechnik. Gegenstand des vorliegenden Buches ist das Teilgebiet der Robotersteuerungen.
Behandelt werden nach einer kurzen Einführung in die Problematik zunächst die entsprechenden Steuerungsgrundprinzipien, d. h., es werden die Grundfunktionen und die Grundstruktur einer Industrierobotersteuerung erläutert, eine Klassifizierung der Steuerungssysteme nach dem technologischen Bewegungsablauf (Punkt- und Bahnsteuerungen) vorgenommen und das Prinzip einer Robotersteuerung auf Mikrorechnerbasis beschrieben. Im anschließenden 3. Abschnitt werden ausführlich das kinematische System eines Industrierobo-

ters, die dafür in Frage kommenden Antriebssysteme sowie die zur Steuerung des Bewegungsablaufs erforderlichen Weg- und Winkelmeßsysteme betrachtet. Im 4. Abschnitt wird die Bewegungssteuerung mit ihren beiden Komponenten Bahnsteuerung und Servoregelung vorgestellt und im 5. Abschnitt des Buches in Verbindung mit den Erläuterungen zur Aktionssteuerung eines Industrieroboters der Entwurf binärer Ablaufsteuerungen mit seinen Komponenten Funktionsbeschreibung, Modellbildung, funktioneller, struktureller und technischer Entwurf ausführlich behandelt. Im folgenden 6. Abschnitt befassen sich die Autoren mit der Programmierung von Industrieroboter n. Die textuelle Programmierung sowie die Programmierung mittels höherer Programmiersprachen stehen dabei im Mittelpunkt. Gegenstand des 7. Abschnitts ist die roboterspezifische Sensorik (taktile und Näherungssensoren) einschließlich der visuellen Erkennungssysteme. Der 8. Abschnitt des Buches sowie ein Anhang geben abschließend einen Überblick über die in der DDR verfügbaren Industrieroboter steuerungssysteme.

Das Buch bewegt sich auf einem mittleren theoretischen Niveau. Es ist allen Technikern und Ingenieuren zu empfehlen, die sich mit dem Entwurf und dem Einsatz von Industrieroboter steuerungen zu befassen haben. Sicher können auch Direkt- und Fernstudenten sowie Weiterbildungsteilnehmer Nutzen daraus ziehen.

E. Habiger, Dresden EA 2165

Bauelemente der Elektronik
Eigenschaften und Anwendung

Von *K. H. Rumpf*. Berlin: VEB Verlag Technik 1985. 12. bearbeitete Auflage. 376 Seiten, 422 Bilder, 42 Tafeln. Kunstleder 23,— Mark.
Bestell-Nr. 553 461 2

Das nunmehr in der zwölften Auflage vorliegende Werk wurde, der raschen Entwicklung auf dem Gebiet der elektronischen Bauelemente Rechnung tragend, stark überarbeitet. Die bewährte Konzeption des Buches, einen Überblick über das gesamte Spektrum der elektronischen Bauelemente zu geben, wurde beibehalten. Dabei hat es sich der Verfasser zur Aufgabe gemacht, den Stoff so darzustellen, daß beim Leser keine besonderen mathematischen Kenntnisse vorausgesetzt werden müssen. Es werden neben passiven Bauelementen, wie Widerstände (Festwiderstände, Varistoren, Heiß- und Kaltleiter) und Kondensatoren in großem Umfang Elektronenröhren, Halbleiterdioden, Thyristoren, Bipolar- und Unipolartransistoren, Dünn- und Dickschichtschaltungen sowie monolithisch integrierte Schaltungen bis hin zum Mikroprozessor behandelt. Weitere Abschnitte sind optoelektronischen, thermoelektrischen, piezoelektrischen und galvanomagnetischen Bauelementen sowie den Magnetika gewidmet. Das letzte Kapitel befaßt sich mit den wichtigen Kontaktbauelementen in angemessenem Umfang.

Der Aufbau der einzelnen Abschnitte ist fast durchgängig gleich, indem Aufbau, Bauformen, Eigenschaften und Kennwerte sowie Anwendungsbeispiele behandelt werden. In vielen Fällen werden zusätzlich noch Meßverfahren angegeben. Eine derart umfangreiche Thematik kann naturgemäß nicht erschöpfend behandelt werden. Trotzdem sollten bei zukünftigen Auflagen einige Ergänzungen vorgenommen werden.

Im 7. Kapitel (Thyristoren) wäre ein Hinweis auf neuere Entwicklungen, wie z. B. abschaltbare Thyristoren (GTO), wünschenswert. Im Zusammenhang mit den Schalteranwendungen bipolarer Transistoren müßten unbedingt Probleme moderner Leistungstransistoren einbezogen werden. Insgesamt hat das Buch den Vorzug, das umfangreiche Gebiet in übersichtlicher und verständlicher Form zu behandeln, wodurch es den Charakter eines Lehrbuches erhält. Das Sachwortverzeichnis ist sehr umfangreich, und die angeführte Literatur neueren Datums ermöglicht das tiefere Eindringen in die verschiedenen Gebiete. Allen, die sich über elektronische Bauelemente informieren oder sich in das Stoffgebiet einarbeiten wollen, ist dieses Buch zu empfehlen.

E. Seefried, Dresden EA 2187

Handbuch TTL- und CMOS-Schaltkreise

Von *E. Kühn*. Berlin: VEB Verlag Technik 1985. 1. Auflage. 412 Seiten, 296 Bilder, 101 Tafeln. Kunststoff 42,— Mark.
Bestell-Nr. 553 459 1

Nach einer einführenden Systematik werden Verknüpfungs- und Flipflop-Schaltkreise erläutert und in einem Typenverzeichnis TTL- und CMOS-Schaltkreise gegenübergestellt. In drei Hauptkapiteln werden statische und dynamische Eigenschaften von TTL-Schaltkreisen sowie Störeinflüsse behandelt. An die Beschreibung der CMOS-Schaltkreise schließen sich in den nächsten Kapiteln höher integrierte Schaltungen, wie Impulsgeneratoren, Zeitschaltungen, Zähler, Kodierer und Multiplexer an, gefolgt von Addierern, programmierbaren Schaltkreisen und Treiberschaltkreisen. Letztere werden — ihrer wachsenden Bedeutung entsprechend — ausführlich behandelt, während die langsamen störsicheren Logikbaureihen sehr kurz wegkommen. Hier wird die Behandlung der stör- und zerstörungsfesten sowie kurzschlußfesten Schaltkreise D 410 und E 412 vermißt.

Im Anhang wird das internationale TTL- und CMOS-Typenspektrum der Baureihen 74 und 4000 zusammengestellt.

In einer anderen Vergleichsliste für Digitalschaltkreise (TTL und CMOS) werden speziell RFT-Schaltkreise und sowjetische Schaltkreise international angebotenen Typen gegenübergestellt. Diese Liste sollte in der nächsten Auflage auf Typen aus den übrigen RGW-Ländern erweitert werden.

In einem ausführlichen Literaturverzeichnis mit 70 Positionen werden die Fachbücher, Zeitschriften und Firmendruckschriften genannt, aus denen der Verfasser mit großem Fleiß die Daten zur beschriebenen Hardware zusammengestellt hat.

Die gesamte Darstellung des Stoffes ist in erfreulichem Maße anwenderorientiert mit gut verständlichen Funktionsbeschreibungen sowie einer Vielzahl von Kennwerten, Maßskizzen, Impulsdiagrammen, Blockschaltbildern und Kennlinien. Zahlreiche Hinweise zur Zusammenschaltung und Beschaltung von Schaltkreisen, zur Störbeeinflussung und zur Problematik der Leitungstreiber machen das Buch zu einer Fundgrube für den Schaltungstechniker. Durch gemeinsame Behandlung und Gegenüberstellung der TTL- und CMOS-Schaltkreise wird ihm eine qualifizierte Entscheidung ermöglicht, welche Baureihe er an welcher Stelle einsetzen kann.

Das Buch wendet sich an Ingenieure, die im Entwicklungslabor, in der Konstruktion und Projektierung sowie im Service tätig sind; es ist aber auch für Studierende elektrotechnischer Fachrichtungen von großem Nutzen.

H. Gottschalk, Berlin EA 2145

Mikroelektronik für den Praktiker
Daten, Schaltungen, Anwendungen

Von *K. Schlenzig; D. Jung*. Berlin: VEB Verlag Technik 1985. 1. Auflage.
344 Seiten, 464 Bilder, 117 Tafeln. Kunstleder 33,— Mark.
Bestell-Nr. 553 466 3

Das Buch will dem Informationsbedürfnis über die Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten moderner mikroelektronischer Schaltkreise einer breiten Gruppe von Interessenten, von Amateuren über Studenten bis hin zu Ingenieuren vor allem nicht elektrotechnischer Fachrichtungen, entgegenkommen. Dementsprechend wurden die behandelten Schaltkreistypen ausgewählt: Operationsverstärker (open-collector-Typen, BIFET-Operationsverstärker, programmierbare Mikroleistungsoperationsverstärker und Leistungsoperationsverstärker), Transistorarrays, LED-Ansteuerschaltkreis A 277, BCD-zu-7-Segment-Decoder, 3 Digit-A/D-Wandler C520D, Zeitgeber und Teilerschaltkreise, Sensoren und Wandler, Low-Power-Schottky-TTL-Schaltkreise (Reihe DLOOOD), CMOS-Schaltkreise (Reihe U/V 4000D) sowie integrierte Spannungsregler und Stabilisatoren.

Die 11 Kapitel des Buches sind einheitlich gegliedert nach Funktion, Kenndaten, Einsatzhinweisen und Einsatzbeispielen. Die zahlreichen, von den Verfassern teilweise selbst erprobten Schaltungsbeispiele sind eine wertvolle Bereicherung des Buches. Auf Erörterung theoretischer Zusammenhänge wird weitgehend verzichtet. Wo es sich als notwendig erweist, werden leicht handhabbare Bemessungsgleichungen angegeben. Die Darstellung des Stoffes ist sehr gestrafft. Dadurch und durch zahlreiche Prinzipskizzen, Schaltbilder und Kennlinien kann sich der Leser rasch einen Überblick über die Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten des jeweiligen Schaltkreises verschaffen. Damit wird ein effektives Arbeiten ermöglicht.

Allen, die sich in irgendeiner Form mit dem Entwurf und Aufbau mikroelektronischer Schaltungen beschäftigen, kann dieses Buch empfohlen werden.

E. Seefried, Dresden EA 2188

Документация

Краузе, И.; Шмидтке, П.: **Обеспечение качества и надежность установок автоматизации**

ELEKTRIE, Берлин 40 (1986) 5, стр.165—169, 3 рис., 6 табл., 17 лит.

Основываясь на требованиях, предъявляемых к свойствам установок автоматизации, предлагается система действенного обеспечения их качества. Она охватывает все структурные единицы предприятия, участвующие в реализации конкретного проекта (например, прокатного цеха), причем, в связи с его особого значения более подробно изучается вопрос обеспечения качества в процессе производства. Положительные результаты промышленного опробования, полученные от применения установок типа audetec как в отечественной, так и зарубежной промышленности, подтверждают правильность принятых мер.

Энгелаге, Д.; Шайбе, З.; Шпангенберг, П.; Тишер, К.: **Система сбора и передачи измерительных данных на световодах MELOK 10-1**

ELEKTRIE, Берлин 40 (1986) 5, стр.169—170, 1 рис., 2 лит.

Сегодняшнее состояние развития световодной техники позволяет экономически выгодное создание высококачественных систем сбора измерительных данных на оптоэлектронных каналах передачи информации. В статье представляется универсальная система сбора измерительных данных с последовательной передачей сигналов по световодам.

Фротцшер, З.: **Улучшение качества электроэнергии трехфазных дуговых электропечей на основе регулируемых стабилизаторов**

ELEKTRIE, Берлин 40 (1986) 5, стр. 171—174, 5 рис., 1 табл., 31 уравн., 12 лит.

Трехфазные дуговые электропечи на совместном точке подключения могут вызвать существенное понижение качества электроэнергии. Его можно скомпенсировать при помощи стабилизатора, работающего параллельно с печной установкой. Предложенный алгоритм позволяет расчет номинальных значений стабилизатора на основе имеющихся измерительных величин.

Герстенбергер, Ст.: **Емкость, обусловленная паразитной дугой — вклад в расчет коммутационных ячеек, заключенных в металлические корпуса**

ELEKTRIE, Берлин 40 (1986) 5, стр.174—176, 8 рис., 2 уравн., 3 лит.

Исследования показывают возможность определения емкости, обусловленной паразитной дугой. Отсюда, с учетом минимальной, обусловленной током и напряжением емкости, можно сделать выводы для первичного проектирования закрытых ячеек относительно их конструктивного и емкостного оформления.

Тёри, Н.: **Возможности симуляции переходных мешающих напряжений в наносекундном диапазоне с целью обеспечения электромагнитной совместимости**

ELEKTRIE, Берлин 40 (1986) 5, стр.178—181, 7 рис., 2 табл., 7 лит.

Основываясь на основных принципах построения импульсных генераторов, в данной статье рассматриваются критичные элементы цепи разряда, как импульсные конденсаторы, разрядные сопротивления и специальные коммутационные звена (в частности водородные тиратроны) относительно их пригодности для генерирования импульсных напряжений в наносекундном диапазоне.

Рихтер, Хр.: **Импульсная характеристика передачи трехобмоточных трансформаторов**

ELEKTRIE, Берлин 40 (1986) 5, стр. 181—185, 5 рис., 1 таб., 17 уравн., 9 лит.

Характеристика передачи трансформаторов вследствие внутренних и внешних перенапряжений приобретает возрастяющее значение в связи с внедрением микроэлектроники в устройства управления и контроля, так как возникающие на сети и передаваемые по трансформаторам импульсные напряжения могут оказаться опасными или воздействующими на такое оборудование. Описывается модель импульсной передачи трехобмоточного трансформатора для определения передаваемых импульсных напряжений.

Хой, Хр.: **О стохастических взаимосвязях между показателями нагрузки синусоидальных перенапряжений включения на сверхвысоковольтных линиях электропередачи**

ELEKTRIE, Берлин 40 (1986) 5, стр.185—187, 6 рис., 20 уравн., 7 лит.

Для детализованного описания синусоидальной характеристики коммутационных перенапряжений используется не только наибольшее амплитудное значение колебания и его время нарастания, но и предыдущее или последующее амплитудные значения обратной полярности колебания, включая соответствующее время нарастания. Предлагается отнести коэффициент перенапряжения 2-й амплитуды к коэффициенту перенапряжения 1-й амплитуды.

Лоренц, Й.; Кордус, А.: **Система защиты от замыкания на землю для сетей среднего напряжения на базе сравнения нулевых полных проводимостей линии**

ELEKTRIE, Берлин 40 (1986) 5, стр.188—190, 1 рис., 2 лит.

В данной статье представляется система защиты от замыкания на землю, срабатывающая от разности нулевых полных проводимостей линии перед включением автоматики по повышению активной составляющей и после него. Данная система защиты реализована в Институте электроэнергетики технического ВУЗа г. Познань и испытана как в лабораторных, так и в эксплуатационных условиях.

Documentation

Krause, J.; Schmiedtke, P.: **Quality Safeguarding and Reliability of Automation Plants**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 5, pp.165—169, 3 Figs., 6 Tables, 17 Refs.

Starting from requirements with regard to the properties of automation plants a system of effective safeguarding of its quality is represented. It comprises all of the structure components of a factory, engaged in the project implementation (e.g. of realizing a rolling mill), whereby the quality safeguarding manufacturing process in consequence of its special importance is studied in more detail. Positive industrial testing results with audatec-plants at home and abroad confirm the correctness of the introduced measures.

Engelage, D.; Scheibe, S.; Spangenberg, P.; Tischer, K.: **Acquisition and Transmission System of Measuring Values with Light Wave Guides MELOK 10-1**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 5, pp.169—170, 1 Fig., 2 Refs.

The development state of the light wave guide techniques makes possible creating economically favourable high-grade acquisition systems of measuring values with optoelectronic information channels. In this paper such an universal acquisition system of measuring values with serial signal transmission by means of light wave guides is represented.

Frotzscher, S.: **Improvement of the Quality of the Electric Energy of Three-Phase Arc Furnaces on Base of Controlled Stabilizers**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 5, pp.171—174, 5 Figs., 1 Table, 31 Equations, 12 Refs.

Three-phase arc furnaces may create at the common connecting point significant quality reductions of the electric energy. These ones may be compensated by means of a stabilizer, working in parallel to the furnace plant. The represented algorithm makes possible computing the rated values of the stabilizer on base of existing measuring quantities.

Gerstenberger, St.: **Volume. Conditioned by Interference Arcs — a Contribution of Dimensioning Metal Encapsulated Switching Fields**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 5, pp.174—176, 8 Figs., 2 Equations, 3 Refs.

Studies give the result, that a volume may be defined, conditioned by interference arcs. Together with the minimum volumes, conditioned by currents and voltages, conclusions may be done, adapted to the first dimensioning of encapsulated components with regard to the constructive and volume related design.

Thöry, N.: **Simulation Possibilities of Transient Disturbing Voltages within the Nanoseconds Region Adapted to Safeguarding the EMC**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 5, pp.178—181, 7 Figs., 2 Tables, 7 Refs.

In this paper, starting from the fundamental principles of the construction of impulse generators, the critical components of the discharge circuit, like shock condensers, discharge resistances, and special switching elements (particularly hydrogen thyratrons), are studied with regard to its aptitude for generating impulse voltages within the nanoseconds region.

Richter, Chr.: **The Impulse Transmission Behaviour of Three-Windings Transformers**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 5, pp.181—185, 5 Figs., 1 Table, 17 Equations, 9 Refs.

The transmission behaviour of transformers in consequence of inner and outer overvoltages reaches more importance through introduction of the microelectronics into the controlling and supervising plants, because impulse voltages, arisen within the network and transmitted by transformers, may effect dangering or influencing such plants. An impulse transmission model of the three-windings transformers is described, adapted to evaluating transmitted impulse voltages.

Hoy, Chr.: **About the Stochastic Bonds between the Load Characteristics of Overshooting Starting Overvoltages on EHV-Transmissions**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 5, pp.185—187, 6 Figs., 20 Equations, 7 Refs.

To the description of the overshooting curve of starting overvoltages in more detail are used not only the greatest oscillation points with its rise time, but also the foregoing or the following oscillation point of the opposite polarity including the appertaining rise time. Relating toe overvoltage factor of the second peak to the overvoltage factor of the first peak is proposed.

Lorenz, J.; Kordus, A.: **Earth-Fault Protection of Medium Voltage Networks on Base of a Comparison of the Line Zero Admittances**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 5, pp.188—190, 1 Fig., 2 Refs.

In this paper an earth-fault protection is represented, which reacts to the difference between the line zero admittances before and after switching on the automation of increasing the effective components. Such a protection was realized in the Institute of Electroenergetics of the Technological University of Poznan, and it was tested both in laboratory and factory.

Dokumentation

Krause, J.; Schmiedtke, P.: **Qualitätssicherung und Zuverlässigkeit von Automatisierungsanlagen**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 5, S. 165—169, 3 Bilder, 6 Tafeln, 17 Lit.

Ausgehend von Forderungen an die Eigenschaften von Automatisierungsanlagen wird ein System zur wirksamen Sicherung ihrer Qualität vorgestellt. Es umfaßt alle an der Projektdurchführung (z. B. zur Realisierung eines Walzwerkes) beteiligten Struktureinheiten eines Betriebes, wobei die Qualitätssicherung im Fertigungsprozeß infolge ihrer besonderen Bedeutung ausführlicher untersucht wird. Positive industrielle Erprobungsergebnisse mit audatec-Anlagen im In- und Ausland bestätigen die Richtigkeit der eingeleiteten Maßnahmen.

Engelage, D.; Scheibe, S.; Spangenberg, P.; Tischer, K.: **Meßwerterfassungs- und Übertragungssystem mit Lichtwellenleitern MELOK 10-1**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 5, S. 169—170, 1 Bild, 2 Lit.

Der Entwicklungsstand der Lichtwellenleitertechnik gestattet es, ökonomisch günstig hochwertige Meßwerterfassungssysteme mit optoelektronischen Informationskanälen zu erstellen. Im Beitrag wird ein solches universelles Meßwerterfassungssystem mit serieller Signalübertragung über Lichtwellenleiter vorgestellt.

Frotzscher, S.: **Verbesserung der Elektroenergiequalität von Drehstrom-Lichtbogenöfen auf der Basis geregelter Stabilisatoren**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 5, S. 171—174, 5 Bilder, 1 Tafel, 31 Gln., 12 Lit.

Drehstrom-Lichtbogenöfen können am gemeinsamen Anschlußpunkt bedeutende Elektroenergiequalitätsminderungen hervorrufen. Diese lassen sich mit einem parallel zur Ofenanlage arbeitenden Stabilisator kompensieren. Der vorgestellte Algorithmus gestattet die Berechnung der Stabilisatorsollwerte auf der Basis verfügbarer Meßgrößen.

Gerstenberger, St.: **Störlichtbogenbedingtes Volumen — ein Beitrag zur Dimensionierung von metallgekapselten Schaltfeldern**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 5, S. 174—176, 8 Bilder, 2 Gln., 3 Lit.

Untersuchungen zeigen, daß ein störlichtbogenbedingtes Volumen definiert werden kann. Gemeinsam mit dem strom-, spannungsbedingten Mindestvolumen können Schlußfolgerungen für den Erstentwurf gekapselter Baueinheiten hinsichtlich der konstruktiven und volumenmäßigen Gestaltung gezogen werden.

Thöry, N.: **Simulationsmöglichkeiten transienter Störspannungen im Nanosekundenbereich zur Sicherung der EMC**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 5, S. 178—181, 7 Bilder, 2 Tafeln, 7 Lit.

In diesem Beitrag werden — ausgehend von den Grundprinzipien des Aufbaus von Impulsgeneratoren — die kritischen Bauelemente des Entladekreises, wie Stoßkondensatoren, Entladewiderstände und spezielle Schaltglieder (insbesondere Wasserstoffthyratrons), in bezug auf ihre Eignung für die Erzeugung von Impulsspannungen im Nanosekundenbereich untersucht.

Richter, Chr.: **Das Impulsübertragungsverhalten von Dreiwicklungstransformatoren**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 5, S. 181—185, 5 Bilder, 1 Tafel, 17 Gln., 9 Lit.

Das Übertragungsverhalten von Transformatoren als Folge innerer oder äußerer Überspannungen gewinnt mit der Einführung der Mikroelektronik in Steuer- und Überwachungsanlagen an Bedeutung, da im Netz entstehende und über Transformatoren übertragene Impulsspannungen eine Gefährdung oder Beeinflussung derartiger Einrichtungen bewirken können. Es wird ein Impulsübertragungsmodell des Dreiwicklungstransformators zur Ermittlung übertragener Impulsspannungen beschrieben.

Hoy, Chr.: **Über die stochastischen Bindungen zwischen den Beanspruchungskenngrößen durchschwingender Einschaltüberspannungen auf EHV-Übertragungen**

ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 5 S. 185—187, 6 Bilder, 20 Gln., 7 Lit.

Zur detaillierten Beschreibung des durchschwingenden Verlaufs von Schaltüberspannungen werden nicht nur der größte Schwingungsscheitel mit seiner Anstiegszeit benutzt, sondern auch der vorangegangene oder nachfolgende Schwingungsscheitel der entgegengesetzten Polarität einschließlich der zugehörigen Anstiegszeit. Es wird vorgeschlagen, den Überspannungsfaktor des 2. Scheitels auf den Überspannungsfaktor des 1. Scheitels zu beziehen.

Lorenz, J.; Kordus, A.: **Erdschlußschutz für Mittelspannungsnetze auf der Basis eines Vergleiches der Leitungsnulladmittanzen**

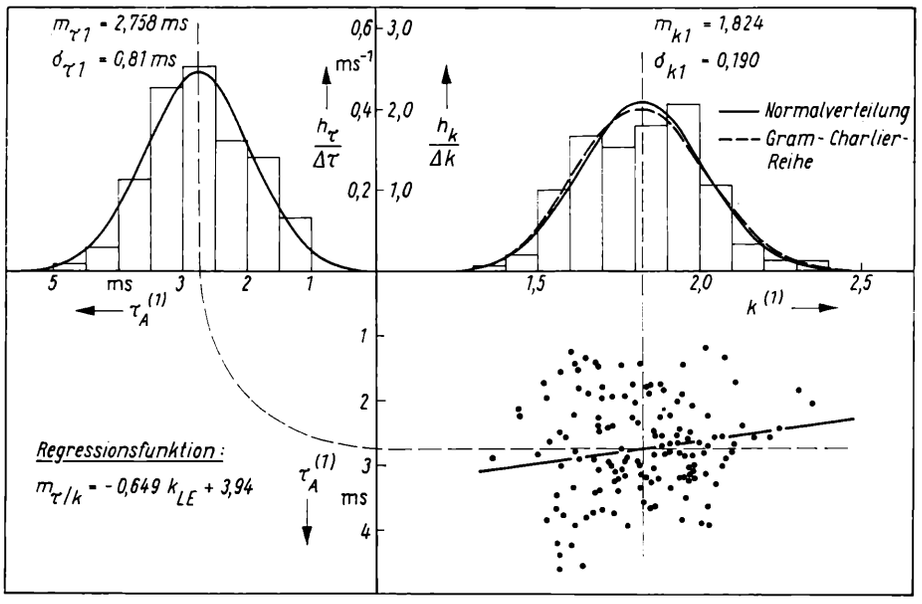
ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 5, S. 188—190, 1 Bild, 2 Lit.

In diesem Beitrag wird ein Erdschlußschutz vorgestellt, der auf die Differenz zwischen den Leitungsnulladmittanzen vor und nach der Einschaltung der Automatik zur Erhöhung der Wirkkomponenten anspricht. Ein solcher Schutz wurde im Institut für Elektroenergetik der Technischen Hochschule Poznan realisiert und im Labor sowie im Betrieb erprobt.

ELEKTRIE

Herausgeber	Kammer der Technik, Fachverband Elektrotechnik
Verlag	VEB Verlag Technik DDR-1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 28700; Telex: 011228 techn. dd
Verlagsdirektor	Dipl.-Ing. *Klaus Hieronimus*
Redaktion	Dr.-Ing. *Klaus Heide*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2870345)
Lizenz-Nr.	1100 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
Gesamtherstellung	III/18/328 Messedruck Leipzig, Bereich Borsdorf 7122 Borsdorf
Gestalter	*Eckhardt Natorp* (Telefon: 2870287)
Anzeigenannahme	Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigenannahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, 1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201 Anzeigenpreisliste Nr. 7 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, DDR-1157 Berlin, Hermann-Duncker-Str. 89
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
AN (EDV)	6730
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	2,50 M, Abonnementpreis vierteljährlich 7,50 M. Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Bezugsmöglichkeiten	
DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propaganditit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R. E. P., 11a, Rue Paris, Sofia
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P. O. Box 88 Beijing
ČSSR	PNS – Ustřédni Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Slezská 11, 12000 Praha 2 PNS, Ústredna Expedicia a Dovoz Tlače, Pošta 022, 88547 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzeće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio, Exterior de Publicationes, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana
VR Polen	C. K. P. i. W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
SR Rumänien	D. E. P. Bucaresti Piata Scinteii, Bucaresti
UdSSR	Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Ungarische VR	P. K. H. I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P. O. Box 16, 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA 32, Hai Ba Trung, Hà Nôi
BRD und Berlin (West)	ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141 – 167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, 2345 Brunn am Gebirge
Schweiz	Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Fachbuchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, DDR-7010 Leipzig, Postfach 160; und Leipzig Book Service, DDR-7010 Leipzig, Talstraße 29

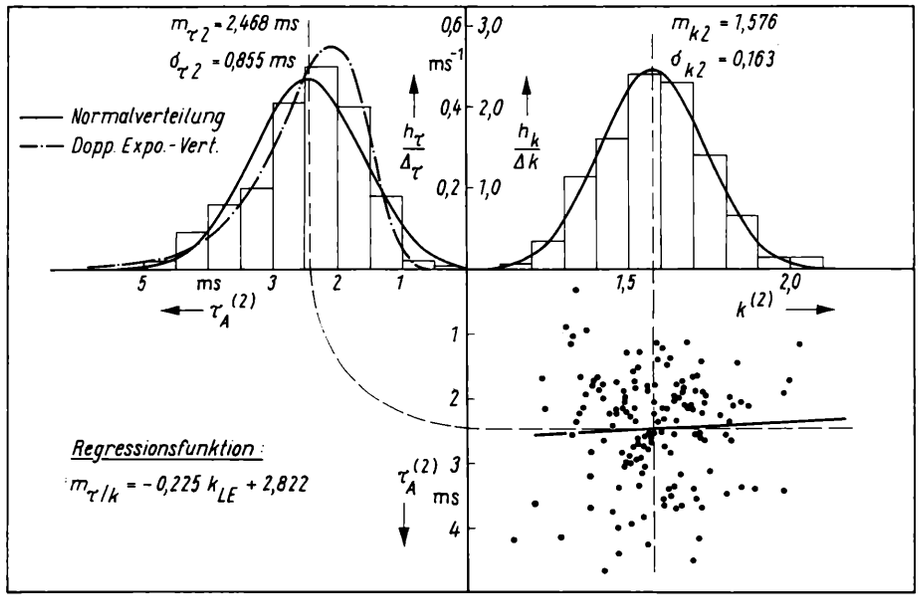
Uber die stochastischen Bindungen zwischen den Beanspruchungskenngrößen durchschwingender Einschaltüberspannungen auf EHV-Übertragungen



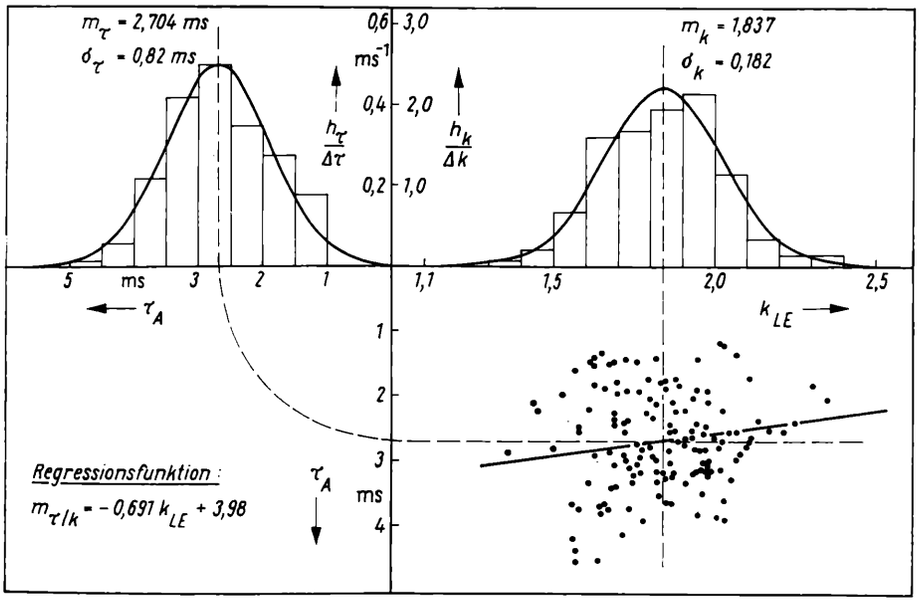
a) des 1. Schwingungsscheitels

Bild 5. aus dem Beitrag von Chr. Hoy auf den Seiten 185—187 in diesem Heft

Bild 5. Korrelationsfelder der Überspannungsfaktoren und Anstiegszeiten (am Leitungsende)



b) des 2. Schwingungsscheitels



c) des größten Schwingungsscheitels

ISSN 0013–5399
ELEKTRIE · Berlin 40 (1986) 5 · S. 161–200

6750 5 177 027 465
KOMB KERAM WERKE
8012 7001 0136 PF 1

Zur Zeit noch im Fachbuchhandel erhältlich

STATISTIK FÜR ELEKTROTECHNIKER

Eine Darstellung an Beispielen aus der Hochspannungstechnik

Von Dr. sc. techn. Wolfgang Hauschild und Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Mosch
268 Seiten, 185 Bilder, 56 Tafeln, Leinen, DDR 28,– M, Ausland 40,– DM.
Bestellangaben: 5532086/Hauschild, Statistik

Die Anwendung der mathematischen Statistik gewinnt in der Elektrotechnik ständig an Bedeutung. Jedoch erfordert die Lösung zahlreicher fachspezifischer Probleme eine unmittelbare Verknüpfung von angewandtem Fachwissen und Methoden der mathematischen Statistik. Dieses Buch will dem Elektrotechniker hierbei eine Hilfe sein und ihn gleichzeitig zur Grundlagenliteratur der mathematischen Statistik hinführen. Auf Grund der Tatsache, daß Methoden der mathematischen Statistik auf dem Gebiet der Hochspannungs- und elektrischen Isoliertechnik bereits in großem Umfang angewendet werden, ist der Stoff an Beispielen aus diesem Gebiet zusammengestellt. Zielstellung der Autoren bei der Erarbeitung dieses Buches war es, Studenten und in der Praxis tätigen Elektroingenieuren ein Hilfsmittel auf dem Gebiet der mathematischen Statistik fachbezogen und anwendungsbereit zur Verfügung zu stellen, um mit möglichst geringer Einarbeitungszeit umfassende, aussagekräftige Ergebnisse — insbesondere aus den notwendigen und oft sehr kostspieligen Experimenten — zu gewinnen. Es soll darüber hinaus Anregungen für die Anwendung statistischer Methoden geben und damit Möglichkeiten der Rationalisierung und Effektivitätssteigerung der Ingenieurarbeit eröffnen. Das Buch wird also immer dann besonders nützlich sein, wenn es gilt, experimentelles Material möglichst umfassend auszuwerten. Bei der Abfassung des Manuskripts wurde großer Wert auf die bildliche Darstellung erläuterter Zusammenhänge gelegt. Jedes Verfahren wird durch mindestens ein Beispiel belegt.

Hauptabschnitte: Einführung · Grundlagen im Überblick · Planung, Durchführung und Auswertung von Messungen · Statistische Bewertung standardisierter Prüfverfahren · Statistische Beschreibung des Isoliervermögens · Vergrößerungsgesetze · Literaturverzeichnis · Sachwörterverzeichnis.

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN